ENCYCLOPÉDIE

POPULAIRE,

OU

LES SCIENCES, LES ARTS ET LES MÉTIERS,

MIS A LA PORTÉE DE TOUTES LES CLASSES.

L'instruction mène à la fortune
et conduit au bonheur.

TRAITÉ DE MÉCANIQUE PRATIQUE.

PREMIÈRE PARTIE.

DES AGENS MÉCANIQUES, OU PREMIERS MOTEURS;

TRADUIT DE L'ANGLAIS

PAR N. BOQUILLON.



PARIS,
AUDOT, ÉDITEUR,
RUE DES MAÇONS-SORBONNE, Nº 11,
1828.

IMPRIMERIE DE A. HENRY,
Rue Gît-le-Cœur, n° 8.

TRAITÉ

DE MÉCANIQUE.

PREMIÈRE PARTIE.

DES AGENS MÉCANIQUES, OU PREMIERS MOTEURS.

CHAPITRE PREMIER.

INTRODUCTION.

(1) On nomme *force* tout ce qui communique ou tend à communiquer le mouvement à un corps. Le but de la *Mécanique*, dans le sens le plus étendu de cette expression, est l'observation des effets des forces sur les corps.

Si l'on applique deux ou plusieurs forces à un corps absolument en repos, il doit en résulter l'un des deux effets suivans : ou le corps continuera à rester dans son état de repos, ou il commencera

à se mouvoir dans une direction déterminée, et avec une force quelconque.

Si le corps reste en repos, c'est que les forces qui agissent sur lui sont nécessairement, entre elles, dans un rapport de directions et d'intensités tel, qu'elles se neutralisent les unes les autres, ou, si l'on veut, qu'elles détruisent mutuellement les effets les unes des autres.

Lorsqu'un corps est placé dans de telles circonstances, on dit de lui qu'il est dans un état d'*équilibre*, et l'on applique communément la même expression d'*équilibre* aux forces qui agissent sur ce corps.

C'est donc un problème très-important, ou plutôt une classe très-intéressante de problèmes, que de déterminer, dans chaque cas particulier, ce rapport entre les intensités et les directions de toutes les forces qui, agissant sur un corps dans des circonstances données, tiennent ce corps en équilibre.

La solution de ces problèmes nous met à même de savoir, d'avance, si un corps, soumis à l'action de forces connues, doit se mouvoir ou rester en repos.

Si les forces qui agissent sur un corps ne sont pas entre elles, dans un rapport

tel qu'elles ne neutralisent pas les effets les unes des autres, il doit en résulter du mouvement, et le corps sera poussé ou tiré, suivant la nature des forces qui agissent sur lui, dans une direction et avec une force quelconque.

Déterminer la force avec laquelle le corps se mouvra, ainsi que la direction de son mouvement, d'après la connaissance préalable de l'intensité et de la direction de chacune des forces qui y sont appliquées, c'est une autre classe de problèmes aussi importans, mais bien distincts de ceux que nous avons signalés plus haut.

(2) Ces considérations ont engagé à diviser la science en deux branches.

Dans la première, qui prend le nom de *Statique* (*), les corps sont considérés comme soumis à l'action de forces qui se font équilibre.

(3) Dans la seconde branche, nommée *Dynamique* (**), on considère les corps comme soumis à l'action de forces qui ne sont pas en équilibre.

(*) Du mot grec *statikos*, qui arrête.
(**) Du mot grec *dunamis*, force, puissance.

Dans l'une, les corps sont donc considérés comme en repos, et dans l'autre, comme en mouvement.

(4) Cette division est, sans contredit, la plus philosophique et la plus convenable dans un traité destiné à des lecteurs déjà instruits; mais, considérant quel est le but de notre Collection, et la classe de lecteurs qu'elle se propose d'éclairer, nous avons pensé qu'il était préférable de suivre une autre marche, et nous n'avons pas hésité à sacrifier l'esprit de système à l'utilité.

Dans les diverses modifications que doivent subir les productions de la nature pour être appropriées aux besoins de la vie civilisée, le mouvement est l'agent principal.

La laine, après avoir été enlevée au mouton, exige un mouvement de rotation pour être façonnée en fils; ces fils doivent ensuite être soumis à beaucoup d'autres mouvemens, pour produire cet arrangement qui leur donne la forme d'étoffe; et l'étoffe elle-même, lorsqu'elle est tissée, doit recevoir, avant d'être employée à nous vêtir, une foule de préparations, dans toutes lesquelles le mouvement est l'agent principal.

Pour obtenir ce mouvement, nous nous aidons de forces que nous offre la nature, telles que les chutes d'eau, la force du vent, celle des animaux et beaucoup d'autres.

Néanmoins, comme les forces et les mouvemens qu'exigent les procédés des arts et de l'industrie, diffèrent souvent, sous plusieurs rapports, des forces et des mouvemens que nous trouvons dans la nature, il est nécessaire d'imaginer des moyens de modifier ces derniers pour les rendre applicables à nos besoins.

Il peut arriver, par exemple, que nous ayons à notre disposition une force naturelle d'une intensité variable, et que le travail auquel nous voulons l'appliquer, exige une force d'une intensité parfaitement uniforme. Nous sommes donc obligés d'imaginer quelque moyen, par l'intermédiaire duquel, en transmettant la force de l'agent mécanique naturel, quel qu'il soit, au point où s'opère le travail, cette force devienne uniforme dans son action.

Dans d'autres cas, la force naturelle n'agit que dans une direction, comme, par exemple, le cours d'un ruisseau,

d'une rivière, une chute d'eau ou un courant d'air, et l'on a besoin que la force, appliquée au point où s'opère le travail, soit alternative ou réciproque, comme celle qui est nécessaire pour faire mouvoir le piston d'une pompe. Dans de telles circonstances il faut adapter, entre l'agent mécanique naturel et le point où s'opère le travail, un appareil convenablement disposé pour convertir l'une de ces espèces de mouvemens dans l'autre.

Un tel appareil est une *machine ;* la force naturelle que la machine doit modifier, s'appelle alors *force* ou *puissance motrice*, ou simplement *puissance*, et la partie de la machine à laquelle s'applique immédiatement la force ainsi modifiée, prend le nom de *résistance* (*).

Cette partie de la Mécanique, qui a pour but spécial l'examen de la nature

(*) Nous regrettons de ne pouvoir nous servir ici de l'expression anglaise *working point* (point travaillant) dont la signification, quoique plus restreinte que celle du mot *résistance*, aurait mieux désigné, suivant nous, la partie de toute machine où s'opère le travail.

(*Note du Traducteur.*)

et des principes de la science des machines, renferme deux divisions intimement liées l'une à l'autre, et qui réclament de notre part la plus minutieuse attention.

La première traite *des agens mécaniques naturels* ou des *puissances motrices*; la seconde a pour objet les *machines*, ou les moyens par lesquels ces puissances sont modifiées et rendues applicables à nos desseins.

Nous nous proposons donc, dans ce *premier Traité*, de n'appeler l'attention du lecteur que sur les lois qui gouvernent ces agens naturels ou ces puissances motrices, et sur les propriétés du mouvement et de la force en général.

Le *second Traité* sera consacré, en conséquence, aux *Élémens de la science des machines*.

CHAPITRE II.

COMPOSITION ET DÉCOMPOSITION DU MOUVEMENT ET DE LA FORCE.

(5) *Si deux forces, ou deux puissances égales, agissent sur le même point*

d'un corps dans deux directions exactement opposées, elles maintiendront le corps en repos.

Ces forces offrent le cas le plus simple de l'équilibre ; et la vérité du principe que nous venons de poser est de soi-même évidente.

En conséquence, si, à un point P, *figure 1re*, *planches* I-II, on attache deux fils ou deux cordes ; si on les fait passer sur la gorge de deux poulies C et D, tellement placées à l'égard du point P, que les parties du fil ou de la corde P C et P D soient sur une même ligne droite ; si, aux deux extrémités du fil ou de la corde, on suspend deux poids égaux A et B ; ces poids tireront *également* le point P dans deux directions opposées P C et P D ; ils se neutraliseront l'un l'autre, et le corps P sera en équilibre.

(6) Maintenant, supposons que le poids B soit plus grand que le poids A, le point P sera tiré dans la direction P D avec une plus grande force que celle qui le tire dans la direction P C, et il aura évidemment une tendance à se mouvoir dans la direction P D. Mais quelle sera cette tendance, ou, en d'au-

tres termes, avec quelle force le point P sera-t-il entraîné dans la direction PD? C'est ce qu'il est facile de déterminer.

En effet, supposons que le poids B soit divisé en deux parties, dont l'une soit égale au poids A; l'autre partie sera évidemment égale à la différence entre les poids A et B, ou à l'excès du poids B sur le poids A; appelons cet excès E et supposons que l'appareil prenne la forme représentée par la *fig. 2, planches* I-II.

Maintenant, si nous nous reportons au principe énoncé dans le n° 5, nous remarquerons que le poids A agissant dans la direction P C, fait exactement équilibre avec le poids B agissant dans la direction P D, de sorte que les effets combinés de ces deux poids se réduisent à rien. La conséquence à tirer de ce raisonnement, c'est que le point P est entraîné, dans la direction P D, par la seule force E qui représente l'excès du poids B sur le poids A.

De ce qui précède, nous pouvons déduire le principe général suivant :

Lorsqu'un corps est tiré, dans deux directions exactement opposées, par deux forces inégales, il en est affecté exac-

tement de la même manière que s'il était entraîné par une seule force, égale à la différence entre les deux forces qui le sollicitent, et agissant dans la direction de la plus grande force.

(7) Cette force unique, dont l'action équivaut à l'action combinée de deux ou plusieurs forces, s'appelle leur *résultante*; et la méthode par laquelle on trouve cette force unique, résultante de l'action de deux ou plusieurs forces, prend le nom de *composition des forces*.

(8) D'un autre côté, on peut trouver deux ou plusieurs forces, dont les effets combinés soient équivalens à l'effet d'une force unique, donnée. La méthode au moyen de laquelle on parvient à trouver ces forces, s'appelle *décomposition des forces*; et les forces plus ou moins nombreuses qui font équilibre à la force unique, donnée, prennent le nom de *composantes* de cette force.

(9) Après avoir examiné le cas bien simple, dans lequel la direction des forces est sur une même ligne droite, portons notre attention sur un cas plus compliqué, dans lequel deux forces

ayant des directions différentes, mais non directement opposées, agissent sur un même point.

Soit P, *fig.* 3, *pl.* I–II, un point fixe auquel sont attachées trois cordes, deux desquelles P *a* et P *b* sont passées sur deux poulies *a* et *b*, comme dans les exemples précédens; enfin, soient A et B des poids quelconques suspendus à ces deux cordes, le point P est tiré par les deux poids ou forces A et B, dans les directions P *a* et P *b*. Il s'agit maintenant de savoir quelle serait la force unique qui produirait sur lui le même effet.

Prenons sur les cordes P *a* et P *b* les longueurs P *m* et P *n* qui soient entre elles, dans le même rapport que le sont entre eux les poids A et B; c'est-à-dire, que P *m* : P *n* :: A : B (*); ensuite, sur la superficie, à laquelle

(*) Les deux points, en mathématiques, signifient *est à*; les quatre points sont l'équivalent du mot *comme*; de sorte que P *m* : P *n* : : A : B doivent se lire, P *m est à* P *n comme* A *est à* B. Cette formule se nomme une *proportion*.

(*Note du Traducteur.*)

les poulies *a* et *b* sont supposées attachées, traçons le parallélogramme P *m o n*; c'est-à-dire, traçons sur les longueurs P *m* et P *n* la ligne *m o*, parallèle à P *n*, et la ligne *n o* parallèle à P *n*; enfin, de P en *o*, traçons la ligne *diagonale* P *o*. Cette diagonale représente une force unique agissant dans la même direction, et qui serait avec le poids A ou le poids B, dans le même rapport que la diagonale P *o* est avec le côté P *m* ou le côté P *n* du parallélogramme; cette force unique produirait enfin, sur le point P, le même effet que produisent, sur ce même point, les effets combinés des forces ou des poids A et B. C'est ce que nous allons prouver par l'expérience.

Supposons une troisième poulie *c* tellement placée, que lorsque la corde P *c* est tendue sur elle, cette corde soit sur une même ligne droite avec la diagonale P *o*, et, par conséquent, dans une direction diamétralement opposée : à la corde P *c*, suspendons un poids C qui soit avec le poids A ou le poids B, dans le même rapport que la diagonale P *o* est avec le côté P *m* ou le côté P *n* du parallélogramme; si le point P, que,

jusqu'ici, nous avons supposé fixe, est alors détaché, et devient libre de se mouvoir, il restera néanmoins en repos, parce que le poids ou la force C produit l'équilibre en neutralisant les effets des poids ou forces A et B qui tendent à faire mouvoir le point P dans la direction de la diagonale P *o*.

D'un autre côté, le poids C ferait de même équilibre à une force unique qui lui serait égale, et agirait dans la direction P *o* (5); d'où il résulte qu'une force égale à C agissant dans la direction P *o* serait équivalente aux effets combinés des deux forces combinées A et B agissant dans les directions P *m* et P *n*.

De tout ce que nous venons d'exposer, nous pouvons déduire le théorème suivant qui est de la plus haute importance (*).

(*) Ce théorème admettrait une rigoureuse démonstration, indépendamment de la preuve expérimentale que nous venons d'en donner. Cette démonstration est néanmoins d'une nature trop compliquée, et exigerait des raisonnemens mathématiques que nous ne pouvons pas convenablement employer dans un ouvrage destiné, comme celui-ci, à une classe de lecteurs peu familiarisés avec de pareilles abstractions.

Si deux forces, agissent sur un même point, dans les directions des côtés d'un parallélogramme, et si les intensités de ces deux forces sont entre elles dans le même rapport que les longueurs des côtés du parallélogramme entre elles, leurs effets combinés équivaudront à l'effet d'une force unique, agissant sur le même point, dans la direction de la diagonale de ce parallélogramme, et dont l'intensité serait proportionnelle avec la longueur de cette diagonale.

Cette force unique agissant dans la direction de la diagonale, est donc la *résultante* des deux forces combinées.

(10) Il est facile de se convaincre que les deux forces ne peuvent avoir qu'une seule résultante; car, si la force C était altérée ou modifiée, aussi peu qu'on le voudra, soit en grandeur, soit en direction, le point P, devenu libre, ne resterait point en repos, mais se mettrait en mouvement jusqu'à ce qu'il eût pris une position telle que les grandeurs de la diagonale, et des côtés du parallélogramme correspondant fussent entre elles, dans le même rapport que les grandeurs des forces A, B et C entre elles.

(11) Nous pouvons maintenant étendre nos recherches aux effets combinés de trois ou plusieurs forces sur un même point.

Soit P, *fig.* 4, *planch.* I-II, un point fixe (comme dans l'exemple précédent) auquel sont attachées plusieurs cordes passant sur les poulies *a b c d*, et auxquelles sont suspendus les poids A, B, C, D.

Prenons, sur la corde P *a*, une longueur P *m*, et, du point *m*, traçons sur la surface à laquelle l'appareil est supposé attaché, une ligne parallèle à la corde P *b*; sur cette nouvelle ligne, prenons une longueur *m n* qui soit avec la longueur P *m* dans le même rapport que le poids B est avec le poids A; de sorte que nous aurons la proportion P *m* : *m n* :: A : B.

Maintenant, du point *n*, traçons une ligne parallèle à la corde P *c*, et sur cette ligne prenons une longueur *n o* qui soit avec la longueur *m n* dans le même rapport que le poids C est avec le poids B, ce qui nous donne encore la proportion *m n* : *n o* :: B : C.

Poursuivant notre opération, traçons, du point *o*, une ligne parallèle à

la corde P *d*; sur laquelle nous prendrons aussi une longueur *o p* qui soit avec la longueur *n o* dans le même rapport que le poids D est avec le poids C, et nous aurons une autre proportion *n o* : *o p* :: C : D.

Enfin, joignons les points *p* et P par une ligne droite.

Le polygone P *m n o p* étant tracé par les procédés que nous venons d'indiquer, nous met à même de reconnaître qu'une force unique agissant dans la direction de la ligne P *p*, et étant, avec chacune des autres forces A, B, C et D, dans les mêmes rapports que la ligne P *p* est avec les lignes P *m*, *n o*, *o p* parallèles chacune à l'une des forces A, B, C, D; que cette force unique, disons-nous, produirait sur le point P un effet équivalent aux effets combinés des forces A, B, C et D.

Cette proposition peut se démontrer par le même procédé que nous avons employé précédemment. En effet, supposons qu'une cinquième corde, attachée au point P, passe sur une poulie *e*, de manière à prolonger la ligne droite, *p* P, et supporte un poids E qui soit

dans les mêmes rapports avec les autres poids A, B, C et D que la ligne p P est avec les côtés du polygone P $m\ n\ o\ p$, parallèles, chacun avec l'une des cordes P a, P b, P c, P d. Si alors, on détache le point P, et si on lui laisse la liberté de se mouvoir, il restera néanmoins en repos, de sorte que la force E agissant dans la direction P e diamétralement opposée à P p, balance ou détruit les effets combinés des forces A, B, C et D.

La force E ferait de même équilibre à une autre force égale, agissant dans la direction opposée de la ligne P p (5). D'où il résulte que l'effet d'une telle force est équivalent aux effets combinés des forces A, B, C et D, et que cette force est, par conséquent, leur résultante.

De ce qui précède, nous pouvons également déduire le théorème général suivant.

Si plusieurs forces agissent sur un même point parallèlement et proportionnellement à tous les côtés d'un polygone, pris en ordre excepté un, une force unique proportionnelle au dernier côté et agissant dans la même direc-

tion, sera la résultante de toutes les autres forces.

On peut prouver que cette force est effectivement l'unique résultante de toutes les autres, en employant la démonstration dont nous avons déjà fait usage.

En effet, si la direction de la corde P *e*, et la grandeur de la force ou du poids étaient modifiées, l'une ou l'autre, ou toutes deux, aussi peu qu'on le voudra, le point P laissé en liberté ne resterait point en équilibre, mais se mettrait en mouvement, jusqu'à ce qu'il eût pris une position telle que les côtés du polygone correspondant fussent en rapport avec les poids suspendus aux cordes avec lesquelles ces côtés sont parallèles.

(12) Jusqu'ici, nous avons supposé que les forces appliquées au point P, sont sur le même plan; mais cette condition n'est nullement nécessaire à l'application des principes que nous avons émis et qui règlent également les effets des forces qui agissent dans différens plans.

(13) Il doit être évident, d'après les raisonnemens qui précèdent, que si plu-

sieurs forces, agissant à la fois sur un point, sont proportionnelles aux côtés d'un polygone, dont chacun serait parallèle à la direction d'une de ces forces, et que si ces forces sont chacune dans la direction des côtés du polygone pris successivement dans le même ordre, le point sollicité par toutes ces forces restera en repos, et que toutes les forces se feront équilibre, ou, si l'on veut, neutraliseront les effets les unes des autres. « Enfin, que chacune de ces forces, prises séparément, pourra être considérée comme la résultante de toutes les autres. »

Puisque l'un des côtés d'un triangle ou d'un polygone quelconque, est toujours moindre que la somme de tous les autres côtés restans, il en résulte qu'un effet mécanique sera toujours produit plus économiquement par une force unique agissant dans sa propre direction, que par plusieurs forces agissant dans des directions différentes.

(14) Tout ce que nous avons établi relativement à la composition des forces pour déterminer l'état de repos d'un corps, s'applique également à la composition des mouvemens.

En effet, deux impulsions qui, données séparément, feraient mouvoir un corps, dans le même espace de tems, le long des côtés d'un parallélogramme, lui feront parcourir, dans le même tems, la diagonale de ce même parallélogramme, si ce corps reçoit à la fois les deux impulsions. C'est ce dont on peut se convaincre par l'expérience suivante :

Soit une table horizontale A B C D, *fig.* 5, *planches* I-II, ayant la forme d'un parallélogramme, garnie d'un rebord pour empêcher la bille X de tomber. « (Un billard serait très-convenable pour cette expérience.) » Soient deux petits canons à ressorts G G′ adaptés à l'un des coins A de la table, de sorte que, lorsque le canon G frappe la bille X, celle-ci se meuve le long du bord A B de la table, et atteigne le coin B en un certain tems ; qu'enfin, lorsque c'est le canon G′ qui frappe la bille, elle se meuve le long du côté A D, et atteigne le coin D dans le même tems.

Maintenant, si les deux canons frappent à la fois la bille X, celle-ci parcourra la diagonale A C et atteindra le coin C dans le même tems qu'elle aurait

atteint le coin B ou le coin D, si elle n'eût reçu que l'impulsion de l'un des deux canons.

Lorsqu'on construit cet appareil, il faut avoir soin, pour que la bille X puisse atteindre, dans le même tems, les coins B et D, de donner à chacun des deux canons une force qui soit en rapport avec la longueur du côté qu'il doit faire parcourir à la bille. Mais il est plus simple de faire la table carrée et de donner aux ressorts des deux canons des forces égales.

De la même manière, si plusieurs impulsions, communiquées séparément à un corps, le faisaient mouvoir parallèlement et successivement, le long des côtés d'un polygone pris en ordre, le dernier côté excepté, et avec des vitesses qui seraient proportionnelles à ces côtés, ces mêmes impulsions, communiquées au corps toutes à la fois, le feraient mouvoir le long du dernier côté et avec une vitesse qui serait proportionnelle à la longueur de ce même côté (*).

(*) Il eût été plus simple de dire que chacun des côtés du polygone devait être parcouru dans le même tems, quelles que fussent les longueurs respectives de ces côtés. (*Note du Traducteur.*)

Nous avons chaque jour des exemples aussi nombreux que familiers de composition et de décomposition de mouvement. Si, lorsque nous marchons le long d'un des côtés d'une rue, nous voulons nous rendre à un point éloigné placé de l'autre côté de cette rue, le chemin le plus direct sera de marcher en ligne droite vers ce point, ou, ce qui est la même chose, de traverser diagonalement la rue; mais si nous désirons être le moins long-tems possible hors du trottoir, nous traversons la rue perpendiculairement au trottoir, et nous suivons l'autre côté jusqu'au point que nous voulons atteindre; dans ce dernier cas, nous ne faisons rien autre chose qu'une décomposition du mouvement diagonal cité, plus haut, en ses deux composantes, les côtés d'un parallélogramme.

Si l'on dirige un bateau à travers une rivière où il n'y ait qu'un courant insensible, il passera perpendiculairement d'une rive à l'autre. Mais, s'il y a un courant, le bateau sera entraîné par lui dans une direction parallèle aux rives, tandis que, d'un autre côté, les rames le feront marcher perpendiculairement à ces mê-

mes rives. Il en résultera que le bateau suivra une direction diagonale, et arrivera à l'autre rive, non pas au point immédiatement opposé à celui d'où il est parti, mais beaucoup plus bas. Dans le fait, il aura suivi la diagonale d'un parallélogramme, dont un côté serait une ligne droite traversant la rivière perpendiculairement à ses deux rives, et dont l'autre serait l'une des rives même, mesurée du point d'où le bateau est parti, par le chemin que fait le courant le long de cette rive, pendant le tems que le bateau emploie à atteindre l'autre. Dans le cas précédent, il y avait décomposition ; ici, nous avons composition de mouvement.

La facilité avec laquelle s'exécutent, dans les cirques, quelques exercices d'équitation, est due au même principe. Lorsque le cavalier et le cheval parcourent le cirque avec une grande vitesse, on s'étonne souvent de ce que, lorsque le cavalier s'élance verticalement au-dessus du cheval, celui-ci reste sous son maître, qui, en redescendant, ne tombe point à terre à l'endroit même où il s'est élancé de dessus la selle. Mais on doit considérer qu'en quittant la selle, le corps

du cavalier est animé de la même vitesse acquise que le cheval : l'élan qu'il prend, dans la direction verticale, ne diminue en rien cette vitesse ; de sorte que, tandis qu'il s'élève de la selle, il s'avance néanmoins avec la même vitesse que le cheval, et continue à s'avancer de même, jusqu'à ce qu'il soit retombé sur la selle.

Dans ce cas, le corps du cavalier décrit la diagonale d'un parallélogramme, dont un côté est dans la direction du mouvement du cheval, et dont l'autre est perpendiculaire à cette direction, ou dans le sens de l'élan que prend le cavalier.

Dans l'exercice qui consiste à sauter à travers un cerceau, un écuyer inexpérimenté, projetterait probablement son corps en avant, comme s'il faisait cet exercice sur la terre ; mais, alors, au lieu de retomber sur la selle, il tomberait en avant du cheval, ou sur la tête ou sur le cou de l'animal. Car, il avancerait effectivement, dans ce cas, plus rapidement que le cheval. En effet, outre la vitesse qui lui est toujours commune avec le cheval, le corps de l'écuyer recevrait une vitesse additionnelle, résul-

tant de l'effort musculaire qu'il aurait fait pour s'élancer en avant.

La seule chose qu'il y ait à faire pour exécuter cet exercice, est de s'élancer verticalement de la selle, et assez haut pour que la partie inférieure du cerceau puisse passer sous les pieds. La vitesse que l'écuyer partage avec le cheval, sera suffisante pour que son corps retombe, sans aucun effort de sa part, sur la selle, après avoir traversé le cerceau.

Ces divers exercices sont des exemples frappans de la composition du mouvement.

CHAPITRE III.

DE LA GRAVITATION, OU DE LA FORCE DE GRAVITÉ.

(15) Bien que, à proprement parler, la force de gravité ne puisse être considérée comme un agent mécanique, elle est néanmoins un moyen de produire ou de déterminer les effets d'un si grand nombre de puissances motrices, qu'il

devient nécessaire d'expliquer ici les lois qui règlent son action, afin de rendre plus intelligible celle de la plupart des agens mécaniques.

La terre que nous habitons est une masse de matière, de forme presque sphérique, dont le diamètre moyen est de 12,733,490 mètres, environ 3,000 lieues moyennes. Cette masse énorme a la propriété d'attirer vers son centre tous les corps placés près de sa surface, de sorte que, quand ces corps sont parfaitement libres de se mouvoir et ne rencontrent aucun obstacle, ils se meuvent en ligne droite vers le centre de la terre, jusqu'à ce qu'ils en atteignent la surface. Si la partie de la surface de la terre qu'ils rencontrent dans leur chute, est solide ou d'un liquide spécifiquement plus pesant qu'eux, ils ne pourront s'approcher davantage du centre du globe; mais, dans ce cas, leur attraction vers ce centre se manifeste par la force avec laquelle ces corps pressent la surface qui met obstacle à leur chute ultérieure.

Si, dans leur chute, les corps rencontrent à la surface de la terre un liquide (la mer, par exemple) spécifi-

quement plus léger qu'eux, ils continuent à s'approcher du centre de la terre en traversant le liquide, jusqu'à ce qu'ils rencontrent un corps solide, ou un liquide plus pesant qu'eux.

Toutes les lignes qu'on tirerait de points quelconques, situés hors du globe, à son centre, seraient évidemment perpendiculaires à sa surface. D'où il résulte que les corps attirés vers le centre de la terre, se meuvent en suivant des lignes perpendiculaires à la surface du globe ; et, lorsque cette surface met obstacle à ce qu'ils continuent à s'avancer vers le centre, ils la pressent perpendiculairement avec une force égale à celle qui les attire vers le centre.

Cette attraction, que la terre exerce sur tous les corps placés près de sa surface, se nomme *gravitation*, *force de gravité* ou *pesanteur*, et la force avec laquelle un corps attiré vers le centre du globe, presse sur un plan horizontal qui met obstacle à sa chûte, est ce que l'on appelle le *poids* de ce corps.

Les effets ordinaires de la chute des corps et de la pression produite par leur poids, trouvent évidemment une expli-

cation complète dans les observations qui précèdent.

En effet, l'attraction que nous avons signalée n'est nullement particulière à la terre ; mais elle appartient à toutes les substances matérielles quelles que soient leurs formes, leur quantité et leur position. Sous ce rapport, la gravitation diffère du *magnétisme* (*) et des autres espèces d'attractions produites par certaines substances particulières. Si la terre était un gros aimant, les substances que le magnétisme affecte seraient les seules douées de pesanteur, les seules qui pussent tomber sur la surface de la terre lorsqu'elles ne seraient point retenues. Tous les autres corps resteraient indifféremment dans la position où le hasard les placerait, et se mouvraient aussi facilement de bas en haut que de haut en bas.

Au contraire, toute substance matérielle est susceptible de l'attraction de

---

(*) Ce mot, qu'il ne faut pas confondre avec le *magnétisme animal*, désigne les propriétés attractives de l'aimant, dont nous entretiendrons nos lecteurs dans un autre Traité.

gravité, et, qui plus est, elle en est susceptible dans le rapport exact de sa masse. Par conséquent, si la masse de la terre était doublée, elle exercerait une attraction double, sur tous les corps placés près de sa surface, et le poids de tous ces corps serait doublé. Si la masse de la terre était triplée, le poids de tous les corps serait triplés; et ainsi de suite. L'attraction que la terre exerce sur tous les corps placés près de sa surface, est donc dans le rapport de sa masse.

Nous avons dit que la gravité ou la pesanteur est une attraction commune à toutes les substances matérielles. S'il en est ainsi, il se présente une question toute naturelle: pourquoi les divers corps placés près de la surface de la terre, n'attirent-ils pas la terre vers eux? Si un corps placé à une certaine hauteur au-dessus de la surface de la terre, est mis en liberté, il sera attiré par la terre, et descendra, par conséquent, en ligne droite, perpendiculairement à la surface du globe; mais, puisque le corps lui-même attire la terre, pourquoi celle-ci ne monte-t-elle pas vers le corps, entraînée par l'attraction que ce corps

exerce sur elle ? Dans ce cas, le corps et la terre devraient se rencontrer en un point quelconque, intermédiaire entre leur premières positions ?

Nous répondrons que c'est effectivement ce qui a lieu.

La terre s'approche du corps tombant qui, non-seulement attire vers lui la masse du globe, mais l'attire avec une force exactement égale à celle avec laquelle il est lui-même attiré par la terre. Pourquoi, demandera-t-on alors, le mouvement rapide de la terre vers le corps tombant n'est-il pas appréciable ? Pour répondre à cette question, il est nécessaire que nous entrions dans quelques détails.

(16) Si deux corps que nous appellerons A et B, sont mus avec la même vitesse, les forces qui les mettent en mouvement sont nécessairement égales, pourvu, toutefois, que les masses de ces corps, c'est-à-dire les quantités de matière qui les composent soient elles-mêmes égales.

Au contraire, si la masse du corps A, c'est-à-dire la quantité de matière qu'il renferme est plus grande que celle du corps B, la force qui met le premier en

mouvement sera plus grande que celle qui fait mouvoir le second, dans le même rapport que la masse de A est plus grande que la masse de B.

Cette proposition deviendra évidente, si l'on considère la force avec laquelle chacun des deux corps frapperait un obstacle quelconque qu'on leur opposerait.

Si B, par exemple, est une balle de fusil, et A un boulet de canon, pesant cent fois plus que la balle B; si, enfin, tous deux sont animés d'une vitesse égale, A frappera un obstacle quelconque avec cent fois plus de force que ne le fera B.

En général, *lorsque les vitesses avec lesquelles deux corps se meuvent sont égales, les forces qui les mettent en mouvement sont entre elles dans le même rapport que les masses ou les quantités de matière des deux corps.*

Maintenant, supposons que les masses des deux corps A et B soient égales; mais qu'ils se meuvent avec des vitesses différentes, c'est-à-dire que, dans un tems donné, une seconde, par exemple, ces deux corps parcourent des espaces différens. Appelons *a* l'espace parcouru en

une seconde par le corps A ; appelons *b* l'espace parcouru, également en une seconde, par le corps B, ces espaces sont nommés les *vitesses* des corps. Des corps égaux se mouvant ainsi avec des vitesses différentes, sont nécessairement sollicités par des forces différentes ; il est évident que le corps qui est doué de la plus grande vitesse, est animé aussi par la plus grande force, et que cette force est dans le même rapport que la vitesse avec laquelle le corps se meut.

Si deux boulets de poids égaux sont successivement lancés par la même pièce de canon, mais avec des charges différentes de poudre, celui qui sera lancé avec la plus forte charge frappera le but avec une force proportionnellement plus grande que ne le fera l'autre boulet ; mais, dans ce cas, la seule différence qui existera entre les mouvemens des deux boulets, c'est que l'un aura une vitesse plus grande que celle de l'autre.

De ce qui précède nous pouvons conclure que, *lorsque des masses égales sont en mouvement, les forces qui les sollicitent sont entre elles dans le même rapport que les vitesses dont les masses sont animées.*

(17) Nous avons examiné séparément le cas dans lequel des masses inégales sont mues avec des vitesses égales, et le cas dans lequel des masses égales sont mues avec des vitesses inégales; nous avons vu que, dans le premier cas, les forces qui sollicitent ces masses sont dans le même rapport que ces mêmes masses entre elles, et que, dans le second cas, ces mêmes forces sont dans le rapport des vitesses.

Maintenant, si des masses inégales sont mues avec des vitesses inégales, et si nous voulons comparer les forces qui les sollicitent, il est naturel que nous tenions compte, en même tems, des vitesses et des masses.

En effet, la force qui fait mouvoir un corps peut être accrue ou diminuée par l'accroissement ou la diminution, soit de la masse, soit de la vitesse de ce corps, soit de toutes les deux.

En conséquence, si l'on multiplie le nombre qui représente la masse du corps par le nombre qui représente sa vitesse, le produit de cette multiplication représentera la puissance, la force motrice qui met le corps en mouvement.

Ainsi, par exemple, si les masses de

deux corps, que nous appellerons A et B, sont entre elles dans le même rapport que le sont entre eux les nombres 8 et 5; si les vitesses dont les corps sont animés, sont entre elles dans le même rapport que les nombres 7 et 3, les forces qui les sollicitent ou les puissances qui mettent ces corps en mouvement, sont entre elles dans le même rapport que le sont entre eux les produits des multiplications de 8 par 7 et de 5 par 3; ou, si l'on veut, ces forces sont dans le rapport de 56 à 15.

D'un autre côté, il résulte, des données de l'exemple précédent, que la force qui sollicite le corps A, ou qui le met en mouvement est, avec la force qui sollicite le corps B, dans un rapport supérieur à celui qui existe entre la masse de A et la masse de B, ou entre la vitesse de A et la vitesse de B; ce qui est dû à ce que la masse et la vitesse concourent à donner à A une force motrice supérieure.

De ce qui précède, nous pouvons conclure que *les forces motrices qui déterminent le mouvement des corps, sont dans le rapport des produits des masses et des vitesses de ces corps.*

(18) Puisque la force motrice d'un

corps dépend à la fois de la masse et de la vitesse de ce corps, il en résulte nécessairement que, si nous diminuons sa masse et que nous augmentions sa vitesse dans le même rapport, sa force motrice restera la même, car ce corps perdra autant de force motrice par la diminution de sa masse qu'il en gagnera par l'accroissement de sa vitesse.

De la même manière, si nous augmentons la masse d'un corps, et si nous en diminuons la vitesse dans le même rapport, la force motrice restera pareillement la même, car ce corps aura perdu autant de sa force motrice par la diminution de sa vitesse qu'il en aura gagné par l'augmentation de sa masse.

(19) Les divers théorèmes que nous venons d'énoncer relativement aux forces qui sollicitent les corps en mouvement, ne reposent pas entièrement sur le raisonnement; mais peuvent être facilement soumis à la sanction de l'expérience.

Attachons deux fils au centre C de l'arc gradué X Y, *fig.* 6, *planches* I–II; suspendons-y les deux balles A et B, formées d'argile humide ou de toute autre substance non élastique, de manière qu'elles soient en contact au milieu

de l'arc X Y. Supposons d'abord que ces deux balles ont des masses égales ; si on les écarte l'une de l'autre en les portant, du milieu de l'arc et dans des directions opposées, vers les deux extrémités de ce même arc, et si on les laisse ensuite redescendre, par leur propre poids, d'une distance quelconque vers le point le plus bas O de l'arc, leurs vitesses réciproques seront, lorsqu'elles se rencontreront, dans le rapport des grandeurs des arcs que ces balles auront parcourus (*).

(*) A la rigueur, les vitesses sont comme les cordes des arcs (« On nomme *corde* d'un arc, la ligne droite qui passse par les deux extrémités d'un arc de cercle, ou d'une partie de la circonférence d'un cercle ; ainsi une ligne droite qui passerait d'un point à un autre de l'arc gradué, représenté par la figure 6, serait la corde de l'arc compris entre ces deux points. ») ; mais, comme les arcs employés dans ces expériences sont petits comparativement au rayon du cercle dont ces arcs font partie, on les considère comme étant presque dans le même rapport que leurs cordes.

Une autre propriété de cet appareil, consiste en ce que, quelle que soit la distance, à partir du milieu de l'arc, d'où les balles tombent, elles arrivent en même tems à ce milieu. Cette propriété, de même que celle que nous venons

Maintenant, si on fait parcourir aux deux balles des arcs égaux, elles se heurteront avec des vitesses égales, et resteront en repos sur le o de l'arc gradué, parce que leurs forces, agissant dans des directions contraires, et se trouvant opposées au moment de la rencontre des deux balles, se détruisent l'une l'autre.

Ce résultat prouve que, lorsque des masses égales sont animées de vitesses égales, elles sont sollicitées de même par des forces égales. Car si, dans ce cas, les forces n'étaient pas égales, les deux masses réunies se mouvraient, après le choc, dans la direction du mouvement de celle qui serait sollicitée par la plus grande force.

---

de citer, n'est réelle que lorsque les arcs parcourus par les balles sont très-petits, par rapport au rayon du cercle dont ces arcs font partie.

« On nomme *rayon* d'un cercle, la ligne droite qui va du centre à la circonférence de ce cercle. On conçoit que, quelle que soit la direction de ce rayon, sa longueur est toujours la même, puisque la distance entre le centre d'un cercle et sa circonférence ne peut varier; autrement ce ne serait plus un cercle. »

(20) Supposons maintenant que la balle A ait un poids double de celui de la balle B; portons la balle A vers X jusqu'à la troisième division de ce côté de l'arc gradué; portons aussi la balle B vers Y, jusqu'à la sixième division de ce côté de l'arc; si nous les laissons partir en même tems de ces deux points, leurs vitesses seront dans le rapport de 3 à 6; mais leurs masses sont dans le rapport de 2 à 1: donc les forces qui les sollicitent doivent être, entre elles, dans le rapport de 2×3 à 1×6 (*), ou comme 6 est à 6, c'est-à-dire égales. Il en résulte donc qu'après le choc, les balles restent en repos, puisque des forces égales et opposées se sont détruites l'une l'autre.

De la même manière, si des balles dont les poids seraient dans le rapport de 2 à 3, tombaient en même tems, la

(*) Le signe $\times$ signifie *multiplié par*; 2×3 signifient donc 2 *multiplié par* 3, ou 6; 1×6, signifie également, 1 *multiplié par* 6, ou 6. L'emploi de ces signes rend les opérations beaucoup plus promptes et beaucoup plus claires pour ceux qui sont familiarisés avec eux.

(*Note du Traducteur.*)

première du sixième, l'autre du quatrième degré de l'arc gradué, leurs vitesses respectives seraient dans le rapport de 6 à 4, et par conséquent les forces qui les solliciteraient étant entre elles dans le rapport de 2 × 6 ou 12 à 3 × 4, ou encore 12, ou enfin dans le rapport de 12 à 12, seraient égales; et, après le choc, les deux masses unies resteraient en repos.

Enfin, quelle que soit la manière dont on varie l'expérience, on trouvera que le produit de la multiplication des nombres qui représentent les masses et les vitesses représentera aussi les forces qui sollicitent les masses à se mouvoir.

(21) Revenons maintenant au phénomène qu'offre la chute d'un corps quelconque sur la terre; nous avons dit qu'ils s'attiraient l'un l'autre avec des forces égales; mais aussi, d'après les explications nouvelles que nous avons données, dans leur tendance réciproque à se rapprocher, la terre a une vitesse autant de fois inférieure à la vitesse du corps tombant, que la masse de l'une est supérieure à celle de l'autre.

Or, tous les corps qui tombent sur la terre, sont infiniment plus petits que

la terre elle-même, et, par conséquent, l'espace que parcourt la terre pour se rapprocher du corps tombant, est infiniment plus petit que l'espace parcouru par ce même corps.

Prenons pour exemple un cas tout-à-fait improbable (*).

Supposons qu'une boule de terre, dont le diamètre serait un dixième de mille (**), soit placée également à un dixième de mille au-dessus de la surface de la terre, et que nous voulions connaître de combien, pendant la chute de cette boule vers la terre, celle-ci se rapprocherait d'elle, nous procéderons ainsi:

Le diamètre de la terre étant d'environ 800 milles, et les sphères étant entre elles dans le rapport des cubes de

(*) Dans cet exemple, nous avons conservé les mesures anglaises, parce que les résultats indiqués offrent des nombres ronds ; nous allons donner, au surplus, en note, la valeur de ces mesures.

(**) Le mille anglais vaut 4954 pieds 11 pouces 9 lignes $^{415}/_{1000}$, ou 1609^{m} 3059, dont le 10e est 523 pieds 9 pouces 0 ligne $^{262}/_{1000}$, ou 160 ^{m} 93059.

leurs diamètres (*), la masse de la terre serait avec la masse de la boule dans le rapport de 512,000,000,000,000 à 1. En conséquence, si la dixième partie d'un mille était divisée en 512 millions de millions de parties égales, une de ces parties serait à peu près l'espace que parcourrait la terre pour aller à la rencontre de la boule tombante. Dans la dixième partie d'un mille, il y a un peu moins de 6400 pouces (**). Si ce nombre de pouces était divisé en 512 millions de millions de parties égales, chacune de ces parties serait la quatre-vingt-millionnième partie d'un pouce. Ce serait donc un espace moindre qu'une de ces parties que la terre parcourrait pour s'approcher de la boule, pendant la chute de celle-ci.

(*) Le cube d'un nombre est ce nombre multiplié par lui-même, puis le produit de cette multiplication multiplié par le nombre primitif. Par le cube d'un diamètre, on entend la longueur de ce diamètre multipliée d'abord par elle-même, et le produit de cette multiplication multiplié à son tour par la longueur du diamètre. (*Note du Traducteur.*)

(**) Le pouce anglais vaut 11 lignes $^{2597}/_{10000}$, ou 0,^{m} 0253997.

Il est donc entièrement évident que, par rapport à la chute des corps sur la terre, celle-ci peut être, sans erreur, considérée comme parfaitement en repos.

(22) Nous avons établi que les corps s'attirent les uns les autres, en raison de leurs masses ou de leurs quantités de matières ; par conséquent la terre attire les différens corps avec des forces différentes. Un morceau de plomb contient une quantité de matière beaucoup plus considérable qu'un morceau de liége de même volume ; il est donc attiré par la terre avec une force proportionnellement plus grande; en d'autres termes, il a un poids plus considérable que le morceau de liége.

C'est pour cette raison que le *poids* est considéré comme la mesure, ou l'indicateur de la quantité de matière que renferme une substance quelconque, quelle que soit, sous d'autres rapports, l'espèce ou la qualité de cette substance.

(23) Mais ce ne sont pas seulement les masses des corps qui déterminent leurs attractions mutuelles : les distances auxquelles ils se trouvent entr'eux modi-

fient cette force qui diminue à mesure que la distance augmente, mais dans un rapport beaucoup plus grand.

Ainsi, par exemple, un corps placé à la surface de la terre, à environ 1500 lieues du centre du globe, est attiré vers ce centre avec une certaine force; au double de cette distance, c'est-à-dire, à 1500 lieues au-dessus de la surface de la terre, ce corps ne serait plus attiré que par une force quatre fois moindre, et il perdrait, par conséquent, les trois quarts de son poids.

Nous ne nous appesantirons pas plus long-tems sur ces divers phénomènes, parce qu'ils appartiennent à une autre branche de la science. Les mouvemens sur lesquels, dans ce traité, nous aurons à appeler l'attention du lecteur, ont tous lieu à la surface de la terre, ou tellement près, que les modifications d'intensité que l'attraction terrestre peut éprouver par les différences accidentelles qui peuvent se rencontrer dans de si petites distances, sont tout-à-fait insignifiantes.

Nous considérerons donc la gravitation ou la pesanteur, comme une force

uniforme, c'est-à-dire, comme une attraction dont un même corps est affecté au même degré, quelle que soit sa position, et qui exerce une influence égale sur des corps égaux.

(24) La terre étant sphérique, ou presque telle, il en résulte que, toutes les directions de son attraction convergent vers le centre du globe, et que, sur les différens points de la surface de la terre, les lignes que parcourent les corps dans leur chute, ne sont point parallèles entre elles, mais convergent de manière que, si elles étaient prolongées au-dessous de la surface, elles se couperaient, se croiseraient au centre.

Néanmoins, dans la pratique, lorsqu'on a besoin de tenir compte de la direction que suivent les corps en tombant, et lorsque les distances ne sont point considérables, on peut envisager, sans erreur sensible, les lignes parcourues, comme parallèles entre elles, et comme perpendiculaires à un même plan horizontal. En effet, à la distance d'un mille anglais (à peu près un tiers de lieue), les lignes parcourues par les corps tombans, ne s'écartent du paral-

lélisme que d'un peu moins d'une minute, ou de la soixantième partie d'un degré (*).

(25) Si un corps est mis en mouvement par une impulsion quelconque, il continuera à se mouvoir dans la direction de cette impulsion, et avec la vitesse uniforme qu'il aura acquise au moment où a commencé son mouvement, pourvu qu'il n'éprouve aucune résistance, soit de la part de l'air, soit du frottement de ces parties contre d'autres corps.

La force de la gravitation, ou de toute autre attraction, diffère essentiellement de l'action que nous avons désignée sous le nom d'impulsion : celle-ci agit instantanément, produit tous ses effets à la fois, et le tems ne modifie en rien ses effets; au contraire, la gravitation

(*) Un degré est la 360e partie de la circonférence d'un cercle ; chaque degré se divise en 60 minutes, la minute en 60 secondes, la seconde en 60 tierces, etc. Dans l'exemple cité, le degré est considéré comme la 360e partie d'un cercle qui ferait le tour de la terre, et qui aurait, par conséquent, 9000 lieues de 25 au degré.

exige du tems pour produire un effet quelconque, et l'effet produit s'accroît exactement dans le même rapport que le tems employé à le produire.

Lorsqu'un corps, suspendu à une hauteur quelconque au-dessus de la surface de la terre, est abandonné à l'action de la gravitation, il commence à se mouvoir avec une vitesse infiniment petite; mais l'action constante de l'attraction terrestre accroît continuellement cette vitesse pendant toute la durée de la chute du corps.

Cette espèce particulière de mouvement prend le nom de *mouvement uniformément accéléré*, et la force qui le produit s'appelle *force accélératrice*.

(26) Pour expliquer l'uniformité de l'attraction de la terre sur les corps tombans, supposons qu'à la fin de la première seconde le corps ait acquis une certaine vitesse; à la fin des deux premières secondes, il aura acquis deux fois cette vitesse initiale, qui sera triplée à la fin de la troisième seconde, et ainsi de suite; la vitesse augmentant dans le même rapport que le tems, depuis le commencement de la chute du corps.

Il n'y aura donc aucune difficulté à

calculer arithmétiquement la vitesse qu'un corps tombant aura acquise à chaque instant, depuis le commencement de sa chute.

Appelons g la vitesse que le corps acquerra en une seconde ; désignons par T le nombre de secondes écoulées depuis le commencement de la chute du corps, et par V, la vitesse acquise après le nombre de secondes exprimées par T. Il devient évident, d'après les explications précédentes, que V contient g autant de fois qu'il y a de secondes dans T ; ce qui, présenté dans la forme algébrique, s'écrirait ainsi : $V = g \times T$, qu'on lirait V égale g, multiplié par T.

(27) Nous avons établi que l'attraction terrestre agit sur tous les corps dans le rapport de leurs masses ou de leurs quantités de matière. Dans le fait, elle agit séparément sur chaque molécule de matière, et avec d'égales forces sur toutes les molécules du même corps.

Ainsi, si cette attraction agit avec une certaine force sur un corps solide, cette force est composée de toutes les forces partielles qui agissent sur chaque molécule ; de sorte que si le corps était brisé

en petits morceaux, chacun d'eux serait attiré aussi fortement que lorsqu'il était réuni en une masse solide avec les autres morceaux.

De ce fait résulte une conséquence fort remarquable, mais qui paraît fausse au premier abord, c'est que tous les corps, quels qu'ils soient, grands ou petits, légers ou pesans, doivent tomber avec la même vitesse.

Nous voyons cependant qu'habituellement une plume et une pièce de métal ne tombent pas avec la même vitesse. Il y a plus, nous savons que quelques corps, les ballons, par exemple, au lieu de tomber, s'élèvent.

Ces faits *paraissent* effectivement contredire la conséquence à laquelle notre raisonnement nous a conduits; mais ce n'est qu'une contradiction apparente.

En effet, il est parfaitement vrai que la gravitation accélère également la chute de tous les corps; mais, lorsque les corps tombent dans des circonstances ordinaires, il se produit une autre force opposée à la gravitation, et cette force est la résistance de l'air agissant sur la surface du corps tombant.

D'un autre côté, cette force n'est pas

du même genre que la pesanteur ; elle n'est pas proportionnelle au poids des corps, ou à la quantité de matière qu'ils renferment ; mais elle dépend de l'étendue de la surface que les corps tombans opposent à l'air.

Une plume oppose à l'air, relativement à son poids, une plus grande surface qu'une pièce d'or ou un morceau de plomb; et, par conséquent, elle éprouve une plus grande résistance dans sa chute de la part de l'air.

Quant à l'ascension des ballons et des autres corps plus légers que l'air, nous renverrons le lecteur à notre *Traité de Pneumatique*, où l'on trouvera tous les détails de cette théorie.

(28) Une expérience décisive peut, indépendamment du raisonnement, démontrer que la gravitation seule, sans le secours d'aucune autre force, détermine la chute de tous les corps avec une vitesse égale.

Sur le plateau E, *fig.* 7, *planche* I-II d'une machine pneumatique, placez un récipient R, très-élevé, ouvert à son sommet, qu'on recouvre avec un autre plateau de métal, parfaitement dressé, ainsi que les bords du récipient, pour ne

laisser aucun passage à l'air. A travers ce plateau, faites passer une tige métallique H qui soit également bien ajustée pour que l'air ne puisse pas pénétrer dans le récipient, mais qui puisse cependant se mouvoir en tournant ou en glissant dans son trou, comme à quelques-uns des récipiens que nous avons décrits dans le *Traité de Pneumatique*. Cette tige, terminée en forme de ⊥ renversé, soutient, dans une position horizontale, deux petits plateaux mobiles retenus chacun par une charnière après deux autres tringles fixées au plateau supérieur. On place, sur l'un, une plume, et, sur l'autre, une pièce de métal, puis on fait le vide dans le récipient. Lorsqu'on en a enlevé autant d'air qu'on le peut, on fait tourner la tige métallique H, et les deux petits plateaux reprenant aussitôt la position verticale, abandonnent à elle-même la plume et la pièce de métal qui, entraînées par l'attraction terrestre, tombent et arrivent en même tems sur le plateau E.

Si l'on pouvait construire un petit ballon assez fort pour résister à la force élastique du gaz qui le remplirait, et tendrait à le faire crever lorsqu'il se-

rait placé dans le récipient vide d'air, on verrait que non-seulement il ne resterait pas au sommet du récipient, mais qu'il tomberait aussi rapidement que la pièce de métal.

(29) Après avoir vu que la vitesse acquise par un corps tombant est dans le rapport du tems employé dans la chute de ce corps, on demandera naturellement s'il existe quelque règle au moyen de laquelle on puisse calculer l'espace qu'un corps parcourra dans un tems donné.

Cette règle pourrait facilement, au moyen d'un raisonnement mathématique, se déduire de celle que nous avons donnée plus haut sur la mesure des vitesses; mais ce raisonnement est d'une nature trop abstraite pour que nous l'exposions ici (*). La règle elle-même est néanmoins facile à comprendre.

(*) Soit S l'espace parcouru par le corps tombant. $V = \frac{dS}{dT} = g\,T$; d'où $dS = g\,T\,dT$ qui, intégré, donne $S = \frac{1}{2}\,g.T^2$.

Si un corps tombant parcourt un certain espace pendant la première seconde de sa chute, il parcourt quatre fois *ce même espace pendant les deux premières secondes*, neuf fois *pendant les trois premières secondes*, *et* seize fois *pendant les quatre premières secondes, etc., etc.* En général, *pour trouver l'espace qu'un corps tombant parcourra pendant un nombre donné de secondes, il faut multiplier l'espace parcouru pendant la première seconde de la chute, par le carré* (*) *du nombre donné de secondes, ou du nombre de secondes employé pendant la chute.*

Ainsi, si nous appelons *m* l'espace que le corps parcourt pendant la première

---

(*) Le *carré* d'un nombre est le produit de la multiplication de ce nombre par lui-même. Ainsi 2×2, ou 4, est le *carré* de 2; 3×3, ou 9, est le *carré* de 3. On exprime encore le *carré* d'un nombre, en plaçant auprès de ce nombre le chiffre ² dans une situation plus élevée; ainsi 12^2 signifie le carré de 12 ou 144; enfin on désigne encore le carré d'un nombre sous le nom de *deuxième puissance* de ce nombre; la *première puissance* d'un nombre n'est pas autre chose que ce nombre lui-même.

seconde, m T^2 (*), ou $m \times T^2$ sera l'espace que parcourra le corps tombant pendant le nombre de secondes représenté par T; et, si nous appelons S cet espace, nous aurons $S = m T^2$ qu'on doit lire ainsi : S égale m multiplié par le carré de T, d'où résulte le théorème suivant :

Les espaces que parcourt un corps tombant sont comme les carrés des tems depuis le commencement de sa chute.

(30) Nous trouverons quel espace un corps tombant parcourra pendant la deuxième seconde de sa chute, en soustrayant, de l'espace parcouru pendant les deux premières secondes, celui qu'il aura parcouru pendant la première. L'espace parcouru pendant la première seconde étant m, celui parcouru pendant les deux premières secondes sera $4\,m$, ou *quatre fois m*; en les soustrayant l'un de l'autre, nous aurons, pour différence, $3\,m$, ou *trois fois m* qui

(*) T^2 exprime ici le carré du nombre de secondes représenté par T.

exprime l'espace parcouru pendant la deuxième seconde.

Nous trouverons de même l'espace parcouru pendant la troisième seconde, en soustrayant celui parcouru pendant les deux premières, et qui est représenté par $4m$, de celui parcouru pendant les trois premières secondes, et dont la valeur est $9m$; la différence entre $9m$ et $4m$ est $5m$ qui exprime l'espace parcouru pendant la troisième seconde.

Nous trouverons, de la même manière, que $7m$, $9m$, $11m$, $13m$, etc., représentent les espaces que le corps tombant parcourrait pendant la quatrième, la cinquième, la sixième, la septième secondes, respectivement, etc.

Donc les espaces qu'un corps tombant parcourt pendant des secondes successives, ou toutes autres divisions égales du tems, sont comme les nombres : 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15, etc.

(31) Il résulte de tout ce qui précède, que le calcul de la vitesse qu'un corps tombant acquiert dans un tems donné, dépend de celle qu'il acquiert pendant une seconde, ou toute autre division connue du tems : c'est la connais-

sance de cette dernière vitesse qu'il faut d'abord posséder pour pouvoir calculer toutes les autres

De même, pour calculer l'espace qu'un corps tombant parcourra dans un tems donné, il est également nécessaire de connaître quel est celui qu'il parcourt pendant la première seconde. La vitesse acquise pendant une seconde, l'espace parcouru pendant une seconde sont donc les élémens fondamentaux de ce genre de calcul, et sont les seules données nécessaires à connaître pour déterminer les diverses circonstances qui se rattachent à la chute des corps.

(32) Mais ces deux élémens ne sont pas indépendans; si nous en connaissons un, nous aurons bientôt découvert l'autre; cela résulte du rapport vraiment remarquable qui existe entre l'espace parcouru par un corps tombant pendant un tems donné, et la vitesse qu'il acquiert pendant le même tems.

Si, lorsqu'un corps, entraîné par l'attraction terrestre, est tombé pendant un certain tems, une seconde, par exemple, l'action de la force qui le sollicite est tout à coup suspendue, qu'arrivera-t-il? Aucune vitesse nouvelle ne

sera communiquée à ce corps, puisque la cause qui produisait cette constante accélération de vitesse est suspendue. Mais, d'un autre côté, ce corps ne perdra pas la vitesse qu'il aura déjà acquise; et, par conséquent, il continuera de tomber; mais, au lieu d'avoir un mouvement accéléré, il tombera uniformément avec sa vitesse acquise pendant tout le reste de sa chute, parcourant des espaces égaux dans des tems égaux.

Dans ce cas, l'espace parcouru, pendant chaque seconde, sera égal à deux fois l'espace parcouru pendant la première, lorsque le corps était entraîné par l'attraction terrestre, si cette attraction a cessé son action après la première seconde (*).

(*) Nous avons trouvé à l'article 26 que $V = gT$; dans la note de l'article 29, nous avons trouvé $S = \frac{1}{2} g. T^2$; en éliminant g dans ces équations, on a $S = \frac{1}{2} V T$; mais $V T$ est l'espace que le corps parcourrait avec une vitesse uniforme V, pendant le tems T. C'est donc deux fois l'espace S que le corps parcourrait pendant le tems T.

Maintenant, si la vitesse est estimée par l'espace parcouru uniformément en une seconde, il en résultera que la vitesse acquise en une seconde est égale à deux fois l'espace que parcourt, pendant une seconde, un corps abandonné librement à l'action de la pesanteur; par conséquent, l'espace que nous avons désigné par m est égal à la moitié de celui que nous avons appelé g.

(33) Les deux formules algébriques exprimant la relation entre l'espace, le tems et la vitesse acquise, deviennent donc

$$V = gT, S = \frac{1}{2} gT^2, \text{ou } 2S = gT^2,$$

dans lesquelles g représente la vitesse acquise en une seconde, ou bien

$$V = 2mT, S = mT^2,$$

dans lesquelles m représente l'espace que parcourt un corps pendant une seconde en tombant librement.

Le tableau suivant indique les relations entre les espaces, les vitesses et les tems, d'après les principes que nous venons de poser. L'espace parcouru pendant la première seconde, est pris pour unité.

Nombre de secondes depuis le commencement de la chute.	Vitesse acquise à la fin de ce tems, c'est-à-dire, de ce nombre de secondes.	Espaces parcourus à la fin de ce tems.	Espaces parcourus pendant la dernière seconde de la chute.
1	2	1	1
2	4	4	3
3	6	9	5
4	8	16	7
5	10	25	9
6	12	36	11
7	14	49	13
8	16	64	15

Ce tableau peut facilement se continuer indéfiniment.

(34) Si l'on voulait soumettre les principes précédemment établis à l'épreuve d'une expérience directe, on rencontrerait de très-grandes difficultés : un corps parcourt, dans la première seconde, à la latitude de Paris, 15 pieds 1 pouces 2 lignes $^{101}/_{1000}$ (4 mètres 9044); en deux secondes, il parcourra donc 60 pieds

4 pouces 8 lignes $^{404}/_{1000}$ (19 mètres 6176); en 4 secondes, il aura parcouru 241 pieds 6 pouces 9 lignes $^{614}/_{1000}$ (78 mètres 4704). Ainsi, si nous nous bornons, dans nos expériences sur les espaces parcourus, à 4 secondes, il nous faudra avoir à notre disposition une hauteur de plus de 241 pieds.

Une difficulté bien plus considérable se présentera, si nous voulons expérimenter les vitesses acquises pendant chaque seconde; car, la vitesse que possède le corps à la fin de la première seconde, serait de 30 pieds 2 pouces 4 lignes $^{202}/_{1000}$ (9 mètres 8088) par seconde, si cette vitesse devenait uniforme, au lieu d'être accélérée. A la fin de la quatrième seconde, cette vitesse acquise serait de 120 pieds 9 pouces 4 lignes $^{807}/_{1000}$ (39 mètres 2352) par seconde, si cette vitesse devenait uniforme; enfin, au bout d'une minute, le corps aurait acquis la vitesse énorme de 1811 pieds 9 pouces 0 lignes $^{108}/_{1000}$ (588 mètres 528) par seconde.

Indépendamment de ces difficultés, la résistance que l'air opposerait à des mouvemens aussi rapides, serait tellement considérable qu'il y aurait une

grande discordance entre les effets observés et les principes que nous avons établis, et dans lesquels on suppose que le corps tombant n'éprouve aucune résistance dans sa chute.

(35) Néanmoins, la vérité de ces principes peut se prouver par les expériences les plus rigoureuses: car, bien qu'on ne puisse, à la vérité, faire disparaître les obstacles dont nous venons de parler, on peut néanmoins les éluder. C'est ce à quoi l'on parvient au moyen d'une machine très-ingénieuse inventée par George Attwood.

Ce physicien pensa que, si l'on pouvait obtenir une force *du même genre* que la gravité, mais d'une intensité beaucoup moindre, la chute des corps sollicitée par cette force, serait régie par *les mêmes lois* que celles de la gravité; mais qu'en même tems elle serait si lente, que la résistance de l'air ne produirait pas d'effets sensibles, et que tous les phénomènes relatifs à l'espace, au tems et à la vitesse, pourraient être soigneusement observés et exactement mesurés.

Pour réaliser cette conception, Attwood imagina de faire passer un fil

de soie très-fin sur la gorge d'une poulie très-mobile sur son axe horizontal, et de suspendre des poids égaux aux deux extrémités de ce fil. Dans cet état, les poids étaient nécessairement en équilibre.

A l'un de ces poids il ajouta une petite masse de même matière, pour lui donner une légère prépondérance sur l'autre; alors ce poids commença à descendre lentement en forçant le plus léger à s'élever.

Faisant abstraction des frottemens de la poulie sur laquelle reposait le fil de soie qui supportait ces deux poids, la descente du poids le plus lourd était, dans ce cas, un mouvement uniformément accéléré, absolument du même genre que celui des corps pesans, abandonnés à l'influence de la gravitation, avec cette différence néanmoins que la chute uniformément accélérée du poids le plus lourd, était rendue aussi lente que Attwood le jugeait nécessaire, pour rendre ses observations faciles et de la plus rigoureuse exactitude. Il n'avait, pour obtenir à volonté une descente plus ou moins rapide, qu'à augmenter ou à diminuer, dans les proportions néces-

saires, l'excès de l'un des poids sur l'autre.

(36) Comme nous avons établi que la chute des corps légers, aussi bien que celle des corps pesans, est également accélérée par la gravitation, on peut supposer que, puisque les deux poids égaux, d'abord suspendus aux deux extrémités du fil de soie, se font équilibre, le poids additionnel, ajouté à l'un d'eux, doit descendre avec une vitesse aussi grande que s'il était soumis à l'action immédiate de la gravitation. C'est effectivement ce qui arriverait si la force que l'attraction terrestre exerce sur ce poids additionnel, était employée tout entière à déterminer sa descente. Mais il ne faut pas oublier l'ascension du poids placé à l'autre extrémité du fil de soie, et que le poids placé d'abord du côté de la descente, n'est tout juste que suffisant pour lui faire équilibre, et, par conséquent, ne peut servir à l'élever.

L'élévation de ce poids est donc entièrement effectuée par la force de l'attraction terrestre qui agit sur le poids additionnel placé à l'extrémité opposée du fil de soie; et toute la force employée

à élever le premier poids doit donc nécessairement être soustraite de celle qui détermine la descente du poids additionnel.

D'un autre côté, le poids additionnel doit encore entraîner, dans sa descente, le poids primitif auquel il est ajouté, et l'animer, dans cette descente, d'une force motrice égale à celle dont il anime l'ascension de l'autre poids.

Il résulte donc de ce que nous venons d'exposer, que, plus le poids additionnel est inférieur aux deux poids égaux primitivement suspendus, plus la descente est lente.

Il restait encore néanmoins un grand obstacle à surmonter, celui du frottement de la poulie sur laquelle passe le fil de soie qui suspend les deux poids.

Attwood y parvint par une ingénieuse combinaison de roues, qui changèrent le *frottement du premier genre* qu'éprouvait d'abord la poulie, en *frottement du second genre* (*). Voici comment il s'y prit.

(*) *Voyez*, pour l'explication de ces deux espèces de frottemens, le Traité particulier sur les *Frottemens* qui fait suite aux Traités sur la *Mécanique*.



L'axe de la poulie qui supporte le fil de soie, au lieu d'être uniquement retenu dans deux trous cylindriques comme celui de toutes les poulies ordinaires, repose, de chaque côté, sur les circonférences de deux roues de cuivre qui se croisent un peu, et qui tournent chacune dans un sens opposé, lorsque la poulie elle-même est en mouvement. Par ce moyen, le frottement de l'axe de la poulie, dans les trous où il était d'abord retenu, est entièrement évité. A la vérité, tout frottement n'est pas détruit; mais s'il exerce encore une certaine influence sur la marche des poids, il est tellement diminué, qu'il n'en résulte aucun effet sensible sur les expériences auxquelles cette machine est destinée.

(37) Cette machine, aussi utile qu'ingénieuse, est représentée dans la *figure* 8, *planche* I-II, et sur une plus grande échelle dans la *figure* 9, *planches* I-II; les mêmes lettres reproduisent les mêmes pièces de la machine. Dans la *figure* 9, *b c d* est la circonférence de la poulie dans la gorge de laquelle passe le fil de soie qui suspend les deux poids égaux; chacune des deux extrémités de l'axe de cette poulie repose sur les circonférences

de deux roues de cuivre, dont nous avons donné plus haut la description. Le plateau sur lequel est placé cet appareil est lui-même supporté par un très-fort pilier, et sous ce plateau est adapté une longue règle C D, divisée en pouces, demi-pouces et dixièmes de pouces, pour mesurer la vitesse de la descente. A et B sont deux poids cylindriques égaux, suspendus aux deux extrémités du fil de soie qui passe sur la gorge de la poulie *b c d*. S est une pièce d'arrêt qu'on peut visser sur la règle graduée à telle ou telle division où l'on voudra arrêter la descente du poids A. Enfin, G est une horloge attachée au principal pilier, et qui bat les secondes, afin de faire connaître la vitesse de la descente.

On prend communément les poids égaux A et B, de manière que si, sur le sommet du poids A, on place un poids additionnel O, qui pèse un quart d'once (*), le poids A parcourt trois pouces pendant la première seconde. Nous avons donc, dans ce cas, une force uni-

(*) Nous avons conservé, dans cette circonstance, leur valeur aux poids et aux mesures

formément accélératrice, qui est *soixante-quatre fois* moindre que l'attraction terrestre (*), et qui cependant conserve tous les caractères distinctifs de cette force; c'est en effet la force de la gravitation exactement reproduite en miniature.

(38) Nous allons maintenant expliquer comment, au moyen de cette machine, on peut démontrer, par l'expérience, les lois qui règlent la chute des corps pesans, et dont nous avons donné plus haut la théorie.

PREMIÈRE EXPÉRIENCE.

Indépendamment de la pièce d'arrêt S,

---

anglais, afin d'éviter de nombreuses fractions; d'autant plus que tous les phénomènes que nous allons décrire ne sont que relatifs, et que la plupart des machines d'Attwood qui existent en France, ont été fabriquées en Angleterre, et portent les divisions anglaises.

(*) La vitesse de la chute des corps pesans, sous la latitude de Londres, est de 16 pieds 1 pouce, ou 193.09 pouces anglais pendant la première seconde. Lorsque les calculs ne sont qu'approximatifs, on ne compte que 16 pieds anglais, comme en France on ne compte que 15 pieds français.

on emploie dans cette expérience un anneau R qu'on peut fixer après la règle graduée, au moyen d'un curseur et de la vis E, à telle division qu'on voudra. On se sert également d'un petit barreau métallique F, pesant le quart d'une once, et dont la longueur est plus grande que le diamètre de l'anneau R.

Maintenant, fixons l'anneau R à une division quelconque de l'échelle, et plaçons la pièce d'arrêt S de manière que, lorsque le poids A repose dessus, le sommet de ce poids soit à une distance de six pouces de l'anneau.

Cela fait, élevons le poids A, en tirant en bas le poids B, jusqu'à ce que le sommet du poids A soit à trois pouces au-dessus de l'anneau. Lorsqu'il est arrivé à cette position, plaçons dessus le barreau F, et abandonnons enfin l'appareil à lui-même, au moment précis où le pendule frappe une seconde : nous remarquerons alors que le choc du barreau F contre l'anneau, coïncidera avec le battement de la seconde suivante frappée par le pendule, et que le choc du poids A sur la pièce d'arrêt S coïncidera également avec le bruit de la seconde qui succède immédiatement à celle-ci.

Nous ferons remarquer que le mouvement accéléré du poids A, pendant la première seconde, et avant que le barreau F ait atteint l'anneau R est entièrement dû à l'action de l'attraction terrestre sur le barreau (36). Lorsque le barreau est retenu par l'anneau, à la fin de la première seconde, cette cause d'accélération cesse, l'action de la gravitation est suspendue, et le poids A ne se meut plus qu'en vertu de la vitesse qu'il a acquise au moment où il abandonne le barreau F sur l'anneau R; enfin cette vitesse acquise lui fait parcourir en une seconde, et d'un mouvement uniforme, les six pouces qui séparent l'anneau R de la pièce d'arrêt S.

DEUXIÈME EXPÉRIENCE.

Plaçons l'anneau R et la pièce d'arrêt S, de manière que, lorsque le poids A repose sur cette dernière, le sommet de ce poids se trouve à 12 pouces de l'anneau. Ensuite, tirant en bas le poids B, élevons le poids A de manière que son sommet se trouve aussi à 12 pouces au-dessus de l'anneau.

Cela fait, plaçons le barreau F sur

le poids A, et abandonnons l'appareil à lui-même, au moment précis où se fait entendre le bruit du pendule. Le choc du barreau contre l'anneau aura lieu en même tems que le bruit de la troisième seconde, le poids A ayant ainsi parcouru d'un mouvement uniformément accéleré, 12 pouces en deux secondes; et le choc de ce poids, contre la pièce d'arrêt S, se fera entendre en même tems que le bruit de la quatrième seconde, de sorte que ce poids aura parcouru, d'un mouvement uniforme, douze autres pouces en une seconde, en vertu de la vitesse qu'il aura acquise pendant les deux premières.

TROISIÈME EXPÉRIENCE.

Plaçons maintenant la pièce d'arrêt S de manière que, lorsque le poids A repose sur elle, le sommet de ce poids se trouve à 18 pouces au-dessous de l'anneau R; élevons alors ce même poids jusqu'à ce que son sommet se trouve à 27 pouces au-dessus de l'anneau, et plaçons dessus le barreau F, comme dans les deux expériences précédentes. Si alors nous abandonnons l'appareil à lui-

même lorsque se fait entendre l'un des battemens du pendule, le choc du barreau contre l'anneau aura lieu au moment du quatrième battement, et celui du poids A, contre la pièce d'arrêt S au moment précis du cinquième. Ce poids sera donc descendu, d'un mouvement accéléré, de 27 pouces en trois secondes; et à la fin de la troisième seconde, il aura acquis une vitesse suffisante, pour parcourir, d'un mouvement uniforme, 18 pouces en une seconde.

(39) Examinons maintenant les résultats de ces trois expériences.

Dans la première, la vitesse acquise en une seconde a été telle, que le poids A a parcouru six pouces en une autre seconde; ou, ce qui revient au même, en une seconde le poids A a acquis une vitesse de 6 pouces par seconde.

Dans la deuxième expérience, le poids A a acquis, en deux secondes, une vitesse de 12 pouces par seconde.

Enfin, dans la troisième, la vitesse acquise en trois secondes par le poids A, a été de 18 pouces par seconde.

Il en résulte donc que les vitesses acquises en une, deux et trois secondes, sont entre elles comme les nombres 6;

12 et 18, ou comme les nombres 1, 2 et 3, puisque les nombres 6, 12 et 18 sont entre eux dans les mêmes rapports que le sont entre eux les nombres 1, 2 et 3.

Donc le principe cité plus haut, que *les vitesses acquises sont comme les tems employés à les acquérir*, est prouvé par ces trois expériences.

Dans la première expérience, le poids A a parcouru, d'un mouvement uniformément accéléré, 3 pouces en une seconde; dans la deuxième, il a parcouru, du même mouvement, 12 pouces en deux secondes; enfin, dans la troisième, il a parcouru, toujours du même mouvement, 27 pouces en trois secondes. Les nombres 3, 12 et 27, sont entre eux comme les nombres 1, 4 et 9, qui sont les carrés de 1, 2 et 3. Donc ces trois expériences prouvent encore le principe déjà cité que *les espaces parcourus d'un mouvement uniformément accéléré, sont entre eux comme les carrés des tems.*

Dans la première expérience, nous avons vu que la vitesse acquise par le poids A, en parcourant trois pouces d'un mouvement uniformément accéléré, avait fait parcourir à ce poids, et dans

le même tems, six pouces, d'un mouvement uniforme, et non accéléré comme le premier.

Dans la seconde expérience, le poids A avait acquis, en parcourant 12 pouces en deux secondes, une vitesse qui lui fit parcourir uniformément douze autres pouces en une seconde, et qui lui en aurait fait parcourir 24 en deux secondes.

Enfin, dans la troisième expérience, la vitesse acquise par le poids A, en parcourant 27 pouces en trois secondes, lui en fit parcourir uniformément 18 en une seconde, et lui en aurait fait parcourir 54 en trois secondes.

Chacune de ces expériences confirme donc le principe que, *si la vitesse acquise, dans un tems donné, par un corps dont le mouvement est uniformément accéléré, devient uniforme, elle lui fera parcourir, dans le même tems, le double de l'espace qu'il avait d'abord parcouru.*

Dans la première expérience, nous avons encore vu que l'espace parcouru pendant la première seconde, était de 3 pouces.

Dans la seconde expérience, l'espace

parcouru pendant les deux premières secondes, était de 12 pouces.

Il en résulte que l'espace parcouru pendant la deuxième seconde, était de 9 pouces, puisque de 12 pouces, il faut soustraire les trois pouces parcourus pendant la première seconde, dans l'une comme dans l'autre expérience.

Dans la troisième expérience, l'espace parcouru pendant les trois premières secondes, était de 27 pouces, dont il faut soustraire le nombre de pouces parcourus pendant les deux premières secondes de cette expérience, c'est-à-dire 12 pouces (ainsi que l'indique la deuxième expérience) pour avoir le nombre de pouces parcouru pendant la troisième seconde; ce nombre est donc 15 pouces.

Ainsi les espaces parcourus pendant les première, deuxième et troisième secondes sont 3, 9 et 15 pouces respectivement, qui sont entre eux dans les mêmes rapports que les nombres 1, 3 et 5. Nos trois expériences prouvent donc encore cet autre principe, que *les espaces que les corps, en tombant librement, parcourent dans des instans égaux et successifs, sont comme les nombres impairs* 1, 3, 5, 7, etc., etc.

Puisque les hauteurs d'où tombent les corps sont proportionnelles aux carrés des tems de la chute (29), et que les tems eux-mêmes sont proportionnels aux vitesses (16), il en résulte que les hauteurs sont aussi proportionnelles aux carrés des vitesses.

Ainsi, pour qu'un corps, en tombant, acquière une vitesse double, il faut qu'il tombe d'une hauteur quadruple, et ainsi de suite.

CHAPITRE IV.

DU CENTRE DE GRAVITÉ.

(40) Nous avons établi que, sur un lieu donné, à la surface de la terre, la force de la gravitation ou de l'attraction terrestre, ou de la pesanteur enfin, agit sur tous les corps dans des directions parallèles entre elles, et perpendiculaires à un plan horizontal ou de niveau.

Cette force, en agissant sur un corps quelconque, n'exerce pas un effort unique, pour nous exprimer ainsi, mais agit, par des efforts séparés, sur chaque

molécule de ce corps, et son effet total est composé de tous les effets partiels produits séparément sur chaque molécule du corps.

Cependant il existe dans tous les corps un certain point sur lequel, si l'attraction terrestre exerçait un effort unique dont l'intensité serait égale à la somme de tous les efforts séparés, exercés sur chacune des molécules du corps, l'effet unique qui en résulterait serait le même que celui qui résulte réellement de toutes ces actions séparées.

Ce point dont nous allons prouver l'existence par le raisonnement et l'expérience, s'appelle *centre de gravité*.

(41) Si l'action de la gravitation sur tous les corps n'avait lieu que sur un point particulier de ces corps, il en résulterait évidemment les effets suivans :

1°. Si ce point était supporté ou suspendu, ou fixé, le corps resterait en repos dans quelque position qu'on le plaçât, car la cause unique que nous supposons devoir produire le mouvement, agirait sur un point que nous regardons comme fixe.

2°. Si on laisse au corps la faculté de se mouvoir, le point sur lequel l'attrac-

tion agirait commencerait à se mouvoir dans la direction de cette attraction, et parcourrait par conséquent une ligne perpendiculaire à un plan horizontal.

3°. Si le corps était suspendu ou supporté par un point autre que celui sur lequel l'attraction est supposée agir, ce corps ne resterait en repos que dans deux circonstances, savoir : lorsque le point attiré serait sur la même ligne verticale que le point de suspension, soit au-dessus, soit au-dessous de ce point.

Si le point attiré n'était pas placé dans l'une des deux circonstances ci-dessus, le corps se mouvrait autour du point de suspension, toutes ses parties décrivant des cercles autour de ce point, jusqu'à ce que le point attiré fût placé verticalement sous le point de suspension.

Ces effets deviendront évidens par les exemples suivans.

Soit A B, *fig.* 10, *planches* III-IV, le corps en expérience, et P le point de suspension autour duquel le corps peut se mouvoir; soit enfin C, le point sur lequel toute la force de l'attraction terrestre est supposée réunie.

Nous supposerons d'abord que ce

point C est placé sur la ligne P D, ou verticalement sous le point fixe P, ce qui est la même chose. L'attraction, agissant alors dans la direction de cette ligne, fera un effort sur le point C; mais le point fixe D, placé sur la même ligne verticale, résistera, et il ne s'ensuivra aucun mouvement.

Maintenant si, comme dans la *fig.* 11, *planches* III-IV, le point C, sur lequel l'attraction est toujours supposée agir uniquement, est placé verticalement au-dessus du point fixe P; cette même attraction, agissant dans la direction de la ligne C D sur le point C, produira seulement une pression sur le point fixe P qui résistera; et, par conséquent, il n'en résultera encore aucun mouvement.

Enfin, comme dans la *figure* 12, *planches* III-IV: plaçons le point uniquement attiré C, dans une position qui soit ni *directement* ni au-dessus ne au-dessous du point fixe P. Tirons les deux lignes parallèles P D et C D' perpendiculaires à un plan horizontal, ou à la surface de la terre; du point C, prenons sur C D' une longueur C *e*, et traçons le parallélogramme C *n o m* dont les côtés *n o* et *m* C soient perpendiculaires à

5*

A P C B. «Si, au lieu d'être dans la position représentée par la *fig.* 12, le point attiré C était dans celle indiquée par la *fig.* 13, *planches* III-IV, la construction que nous venons de décrire se ferait sur les mêmes principes, et nous croyons inutile de la répéter, si nos lecteurs se sont bien pénétrés de ce que nous avons dit relativement à la *fig.* 12. »

Maintenant, d'après ce que nous avons dit à l'article 9, si la longueur C *o*, dans les deux *figures* 12 et 13, est considérée comme représentant l'action de la gravitation supposée rassemblée sur le point C, cette force d'attraction équivaudrait à deux forces séparées et du même genre, qui seraient représentées en intensité et en direction par les lignes C *m* et C *n*, et son effet serait le même que celui des deux forces C *m* et C *n* réunies.

Il est alors évident que, dans la *figure* 12, la force qui agirait en C dans la direction C *n* ne pourrait pas produire de mouvement, et ne pourrait faire sur C qu'un effort détruit par la résistance du point fixe P; il est également évident que, dans la *figure* 13, la même force qui agirait en C, dans la direction C *n*, ne produirait pas non plus de mou-

vement, et ne pourrait, en faisant effort sur C, que produire une pression sur le point fixe P.

Resterait maintenant, dans les deux *figures*, la force représentée, en intensité et en direction par C m, et perpendiculaire à P C. Cette force tendrait alors à faire mouvoir le corps A B autour du point fixe P, de manière à amener le point attiré C sur la ligne verticale P D, au-dessous du point de suspension P, où il resterait en repos après quelques oscillations.

(42) Il résulte de ce que nous venons d'exposer, que, si les actions parallèles de l'attraction terrestre sur chaque molécule d'un corps, peuvent être représentées par une force équivalente agissant snr un point unique, ce point aura toutes les propriétés que nous venons d'indiquer, et pourra se reconnaître à ces mêmes propriétés.

Suspendons, par exemple, en un point quelconque, un corps terminé par des plans parallèles (un morceau de planche si l'on veut), nous trouverons qu'il ne peut conserver qu'une seule position sans entrer en mouvement. Attachons au point de suspension un *fil à plomb*,

et marquons sur l'une des surfaces planes du corps, la ligne déterminée par le fil à plomb. Suspendons de nouveau le corps par un autre point, et marquons également, sur la même surface, la direction qu'indique de nouveau le fil à plomb, attaché encore une fois au point de suspension.

Si l'on répète cette opération plusieurs fois en suspendant le corps par d'autres points, et en traçant sur la même surface, la ligne indiquée, chaque fois, par le fil à plomb, nous remarquerons que toutes les lignes tracées ainsi, dans cette direction, se couperont, se croiseront en un même point. Or, ce point aura toutes les propriétés mentionnées au numéro 41; car il se sera placé lui-même verticalement sous le point de suspension, lorsque le corps se sera mis en équilibre à chaque opération successive.

Si, lorsque ce point est ainsi déterminé, nous en faisons le point de suspension du corps, celui-ci restera en équilibre, dans quelque position qu'on le place, et ne pourra, dans aucun cas, entrer de lui-même en mouvement.

Suspendons maintenant le corps par un autre point que celui que nous avons

ainsi déterminé, avec la condition que ce dernier point soit placé verticalement au-dessus du point de suspension, le corps restera en équilibre aussi longtems que cette position ne sera pas changée; mais à la moindre impulsion qui portera ce point en dehors de la ligne verticale, il se mettra à tourner, en entraînant le corps, autour du point de suspension, et s'établira, après quelques oscillations, sur la même ligne verticale, mais au-dessous du point de suspension.

Ce point, dont nous venons d'établir ainsi l'existence et les propriétés, est donc véritablement le *centre de gravité*.

Dans l'expérience précédente, nous avons choisi, dans le but de simplifier le procédé d'expérimentation, un corps terminé par des plans parallèles. Rigoureusement parlant, le *centre de gravité* n'est pas sur le point d'intersection des lignes déterminées par le fil à plomb, sur la surface plane; il est, au contraire, au milieu de la ligne perpendiculaire, qui, de ce point d'intersection, traverserait l'épaisseur du corps.

Si nous pouvions percer en lignes droites un corps quelconque, suivant

toutes les dimensions, quelle que soit la figure de ce corps, nous trouverions son centre de gravité par le même procédé. On le suspendrait successivement par divers points, et on le percerait en lignes droites et verticales, à partir de chacun de ces points de suspension, et quelque nombreuses que fussent les lignes qui traverseraient ainsi ce corps, elles se couperaient toutes en un seul point qui serait le centre de gravité du corps.

(43) Au moyen des propriétés du centre de gravité, on peut simplifier beaucoup les problèmes de mécanique qui se rattachent aux effets de la pesanteur des corps; car, au lieu de s'occuper des effets séparés de la gravitation sur les diverses molécules dont un corps est composé, il suffit de ne considérer qu'une force unique, égale à la somme de toutes les attractions partielles, exerçant son effort sur le centre de gravité, suivant une ligne perpendiculaire à un plan horizontal, et qu'on nomme ligne de direction. C'est sur cette ligne de direction que le centre de gravité se meut toujours ou tend constamment à se mouvoir, et sur laquelle il prend, dans tous

les cas, la position la plus basse possible, eu égard aux conditions dans lesquelles le corps se trouve placé.

(44) Si, par l'application d'une force extérieure, un corps est mis dans une situation telle, que son centre de gravité se trouve placé dans la position la plus élevée qu'il puisse atteindre, eu égard aux circonstances dans lesquelles le corps se trouve placé, ce corps restera en équilibre tant que rien ne changera la position de son centre de gravité.

Mais, comme dans le cas de suspension cité plus haut, la moindre impulsion que le corps recevrait ferait descendre le centre de gravité jusqu'à la plus basse position qu'il puisse occuper.

La première de ces deux positions dans lesquelles le corps peut rester en équilibre, s'appelle *équilibre instable*; et la seconde *équilibre stable*.

(45) *Si un corps est placé sur un plan, sa stabilité sera déterminée par la position de la* ligne de direction, *par rapport à sa base.*

Soit ABCD, *fig.* 14, *planches* III-IV, un corps posé sur le plan de niveau LM; soit O son centre de gravité, et ON la ligne de direction passant par la base AD.

Puisque toute la force de la gravitation peut être considérée comme concentrée en O, et dans la direction O N, le plan L M résiste à cette force qui ne produit d'autre effet que de faire exercer au corps A B C D une pression sur le plan L M. et le corps reste en repos.

Mais si la ligne de direction O N, *fig.* 15, *planches* III-IV, passe en dehors de la base A D, le cas est différent. La force de la gravitation agit alors de manière à faire tourner le corps A B C D sur son angle D, et à le faire tomber sur son côté D C.

En effet, traçons la ligne O D, et du point N O, où passe la ligne de direction O N, traçons aussi la ligne N *m*, perpendiculaire à D O; puis complétons le parallélogramme N *m* O *n*, la diagonale N *o* représente alors, en intensité et en direction, toute la force de la gravitation exercée sur le corps A B C D. Mais cette force unique peut-être décomposée (9) en deux forces représentées en intensité et en direction par les lignes O *m* et O *n*. La force O *m* est détruite en D par la résistance du plan L M; reste la force O *n* qui tend évidemment, sans que rien lui résiste, à faire tourner le

corps A B C D autour du point D, et à le faire tomber sur le plan horizontal L M vers le point M.

Si la ligne de direction D N tombe sur l'angle D de la base du corps A B C D, *fig.* 16, *planches* III-IV, ce corps est dans un état d'équilibre instable.

En effet, si, du point D comme centre, on décrit l'arc de cercle O E, dont la ligne de direction D O est le rayon, il est évident que si le centre de gravité O est mu vers le point M du plan horizontal sur lequel repose le corps A B, ce même point O parcourra une partie de l'arc de cercle O E dont chaque point est plus près de la ligne D M que le centre de gravité O, qui, par conséquent, doit descendre.

La plus légère impulsion aurait donc pour résultat de faire tomber le corps A B C D sur son côté C D vers le point M.

(46) *En général, plus le centre de gravité d'un corps est élevé, comparativement à l'étendue de la base de ce corps, plus il sera facile de renverser celui-ci.* C'est ce que nous pouvons aisément démontrer.

Soit A B C D, *fig.* 17, *planches* III-IV, un corps reposant par sa base A D sur le

plan horizontal L M, soit O le centre de gravité de ce corps, et ON sa ligne de direction.

Traçons la ligne O D, et, du point D comme centre, décrivons l'arc du cercle O E F, dont le rayon est la ligne D O.

Si l'on veut faire tourner le corps A B C D, autour de son coin D, il sera nécessaire d'élever son coin A, à une hauteur telle, au-dessus du plan horizontal L M, que son centre de gravité O puisse parcourir l'arc de cercle O E F, et parvenir au delà du point E.

Maintenant, plaçons sur le corps A B C D, un autre corps pesant G K, *fig.* 18, *pl.* III-IV; le centre de gravité des deux corps réunis, sera élevé de O, en O', et, pour faire tourner la masse totale sur l'angle D, il ne faudra plus faire parcourir au centre de gravité O', que l'arc de cercle O' E.

Il est évident que, pour obtenir ce résultat, il faudra beaucoup moins élever l'angle A que dans le cas précédent.

C'est à ce principe qu'est dû le danger de charger trop pesamment, par le haut, les voitures dont la charge est comparativement nulle par le bas, et celui qui résulte de l'imprudence des

personnes qui se tiennent de bout dans une barque. Dans ces deux cas, le centre de gravité s'élève, et la facilité avec laquelle la voiture ou la barque peuvent se renverser, est augmentée d'autant.

Si l'on essaye de faire tenir un corps sur une de ses parties terminée en pointe, on éprouvera une très-grande difficulté, pour ne pas dire une impossibilité pratique, à tenir le centre de gravité de ce corps sur la ligne verticale au dessus de la pointe qui supporte le corps. Mais, si on lui imprime un mouvement de rotation, il se tiendra très-facilement en équilibre.

Dans ce dernier cas, à chaque révolution du corps sur lui-même, son centre de gravité prend toutes les positions possibles autour de la pointe, et a une tendance égale à faire tomber le corps dans toutes les directions autour de cette pointe. Par conséquent, cette tendance à faire tomber le corps dans une direction quelconque, est contrebalancée à chaque demi-révolution, par une égale tendance à faire tomber le corps dans une direction opposée; et, pourvu que le mouvement de rotation soit suffisamment rapide, ces tendances oppo-

sées se succèdent si promptement l'une à l'autre, qu'elles se font équilibre comme si elles existaient simultanément.

CHAPITRE V.

DE L'EAU, CONSIDÉRÉE COMME AGENT MÉCANIQUE.

(47) Lorsque l'eau descend d'un niveau quelconque sur un niveau inférieur, son poids, pendant sa descente, peut être employé comme agent mécanique.

Pour obtenir ce résultat, deux choses sont nécessaires ; d'abord que l'eau soit suffisamment reproduite au niveau supérieur; ensuite qu'elle puisse s'écouler facilement après la descente, pour empêcher que le niveau inférieur ne s'élève, et n'atteigne le même plan horizontal que le niveau supérieur.

Le moyen le plus habituellement employé pour donner avec cette puissance, le mouvement à une machine quelcon-

que, est une roue, sur la circonférence de laquelle l'eau agit, pendant sa descente, dans une direction qui doit faire, autant que possible, un angle droit, avec les rayons de la roue : il est bien entendu que la pression du liquide n'agit que sur un des côtés de cette roue.

Les roues hydrauliques mises en mouvement par la force du poids de l'eau, sont de deux espèces : *les roues en dessus* et *les roues de côté* (*).

Le diamètre d'une *roue en dessus* doit être presque égal à la distance entre les deux niveaux de l'eau qui la met en mouvement.

La *figure* 19, *planch.* III-IV, offre une section verticale de cette espèce de roue, dont la circonférence est garnie d'augets qui reçoivent l'eau à sa descente du réservoir supérieur *h*. Ces augets, depuis le sommet H de la roue, jusqu'à l'extrémité E du diamètre horizontal E G, sont constamment remplis d'eau,

(*) *Voyez*, pour les détails qui pourraient être omis dans ce chapitre, le *Traité d'Hydraulique* qui fait partie de l'*Encyclopédie populaire*.

tandis que ceux qui occupent la partie inférieure de la roue depuis le point E jusqu'au point a', où l'auget prend la position horizontale, ne sont remplis qu'en partie; à partir du point a' jusqu'au point L, les augets sont complétement vides; et, à plus forte raison, ceux qui occupent l'autre côté G de la roue, à partir du diamètre vertical H L sont-ils également vides.

Dans cet état, le poids de l'eau qui remplit les augets doit faire tourner la roue sur son axe O, puisque ce poids agit entièrement sur le côté H E L de la roue, et n'est pas contrebalancé par un poids égal placé de l'autre côté; et le mouvement de la roue doit se continuer tant que les augets reçoivent une quantité d'eau suffisante du niveau supérieur h.

Le poids de l'eau, dans chaque auget, n'a pas la même efficacité pour faire tourner la roue : c'est ce qu'on peut facilement démontrer.

En effet, le poids de l'eau contenue dans l'auget le plus élevé h, presse directement sur l'axe de la roue, et ne contribue en aucune manière au mouvement. De chacun des autres augets $a\,b\,c$, etc., etc., concevons les lignes a A,

b B, c C, etc., etc., abaissées perpendiculairement sur le diamètre horizontal EG; le poids de l'eau, dans l'auget a, produit sur le mouvement de la roue le même effet que s'il agissait à l'extrémité A d'un bras de levier O A (*). De la même manière, le poids de l'eau, agissant dans les augets b, c, d et e produit le même effet que s'il agissait aux extrémités des bras de levier O B, O C, O D, O E.

Il est donc évident que, plus un poids donné agit loin du centre O, plus ce poids a d'efficacité pour faire tourner la roue, et que l'eau, dans les augets rapprochés de E, produit plus d'effet que l'eau contenue dans les augets rapprochés de H.

Cette différence d'efficacité est encore plus grande pour les augets e', d', c', b', a'.

En effet, l'eau s'écoule de chaque auget en quantité d'autant plus considérable que cet auget s'éloigne davantage de l'extrémité E du diamètre horizontal

---

(*) *Voyez*, pour la définition du levier et son emploi, le Traité qui fait suite à celui ci, sur les *Élémens de la Science des Machines*.

E G, et produit par conséquent un effet moindre que celui des augets *e*, *d*, *c*, *b*, *a*, placés immédiatement au-dessus d'eux ; la différence entre ces effets respectifs est d'autant plus grande que les deux augets opposés se rapprochent davantage du diamètre vertical H L, ou que l'auget inférieur contient moins d'eau.

Afin d'augmenter la puissance des roues en dessus, les ingénieurs ont donné une très-grande attention à la construction des augets, qui doivent avoir une forme convenable pour retenir le plus d'eau possible, jusqu'à ce qu'ils atteignent le plus bas point L de la roue, et pour n'en plus garder du tout lorsqu'ils ont dépassé ce point. Enfin, chaque auget devrait être vide en arrivant au point L, et être encore plein le plus près possible de ce point.

On a proposé diverses formes d'augets pour obtenir ce résultat. Celle qui est généralement considérée comme la meilleure, est représentée *figure* 20, *planches* III-IV.

Cet auget est formé de trois plans : A B est dans la direction du rayon de la roue et se nomme la *lance* ou l'*épaule* ; B L s'appelle le *bras*, et C H le *poignet*.

Sa construction est telle que, quand AB fait un angle de 35 degrés avec le diamètre vertical de la roue, la ligne AD est horizontale, et que l'aire ou l'étendue de la figure ADCB, est égale à l'aire ou à l'étendue de la figure FCBA, de sorte qu'il reste autant d'eau dans l'auget lorsqu'il a pris la position indiquée plus haut, qu'il en faudrait pour remplir FCBA. Toute l'eau ne se répand donc que lorsque le plan CD est devenu horizontal, ce qui n'arrive que lorsque le plan AB est très-près du point le plus bas de la roue, et qu'il est lui-même presque vertical.

En cherchant à tenir remplis tous les augets descendans, on ne doit pas oublier que la pression s'accroîtra sur les supports de l'axe de la roue, qu'il en résultera un accroissement de résistance produit par le frottement, et qu'il y a par conséquent une certaine distance à partir du plus haut et du plus bas point de la roue, dans laquelle le poids de l'eau est un obstacle positif au mouvement. C'est ce que l'on comprendra facilement en examinant d'abord les deux cas extrêmes, c'est-à-dire l'effet produit

par l'auget le plus élevé et celui produit par l'auget le plus bas.

Si ces deux augets sont remplis, le poids de l'eau qu'ils contiennent n'a, comme nous l'avons déjà établi, aucune influence sur le mouvement de la roue; mais ce poids exerce sur les supports de l'axe sa pression tout entière. Le frottement étant proportionnel à la pression verticale, est nécessairement augmenté, et produit par conséquent un accroissement de résistance à l'effet résultant du poids de l'eau dans les autres augets descendans. Il en résulte donc que le poids de l'eau, dans l'auget le plus haut et dans l'auget le plus bas, est un obstacle positif au mouvement de la roue.

Maintenant, supposons que les augets *a* et *a'*, *fig.* 19, qui sont les plus rapprochés de l'auget le plus élevé et de l'auget le plus bas, soient remplis, il en résultera deux effets : d'abord une pression additionnelle sur les supports de l'axe de la roue, et par conséquent un accroissement de résistance, ensuite une force motrice déterminée par la longueur du bras de levier AO. Mais lorsque les augets *a* et *a'* sont rapprochés le plus possible du plus haut et du plus

bas point de la roue, la force motrice déterminée par la longueur du bras de levier AO, est la plus petite possible, tandis que la pression exercée par le poids de l'eau sur les supports de l'axe de la roue est presque la plus grande possible.

Il en résulte donc un accroissement de résistance beaucoup plus grand que la force motrice obtenue, et par conséquent une perte de force.

On peut conclure de ce raisonnement qu'il existe, à partir du plus haut et du plus bas points de la roue, une certaine distance où la force motrice produite par le poids de l'eau dans les augets, est seulement égale à la résistance qu'oppose le frottement produit par la même cause, c'est-à-dire le poids de l'eau; « circonstance qui détermine l'équilibre, qui, sans nuire au mouvement, n'y contribue pas, et d'où résulte néanmoins une perte de force, puisqu'il y a de l'eau employée inutilement. »

Il est également évident qu'entre ces points d'équilibre et le plus haut et le plus bas points de la roue, un auget rempli produit une perte positive de puissance, et que, même au delà de la li-

mite de l'équilibre, mais cependant très-près de cette limite, la force motrice réellement obtenue est très-peu de chose.

Il y a une certaine vitesse avec laquelle une roue en dessus doit se mouvoir pour produire le plus grand effet possible; c'est ce qui paraîtra évident lorsqu'on aura considéré les deux cas extrêmes, comme dans les recherches précédentes.

En effet, si la roue est tellement chargée, c'est-à-dire, si la résistance qu'elle éprouve de la part du mécanisme qu'elle doit mettre en mouvement est telle que le poids de l'eau soit insuffisant pour la faire tourner, sa vitesse sera nulle.

Si, au contraire, on suppose que la roue tourne avec une telle rapidité, soit à cause de sa légèreté, soit à cause du peu de résistance qu'elle éprouve de la part du mécanisme qu'elle fait mouvoir, que l'eau descende aussi promptement avec les augets que si elle était abandonnée à elle-même, le poids de cette eau ne produira également aucun effet, puisqu'il n'agira sur aucune résistance, et n'aura aucun effort à faire.

Entre ces deux limites, se trouve une

vitesse moyenne qui doit produire le meilleur effet possible.

Smeaton a conclu de nombreuses expériences, que la meilleure règle générale de vitesse pour la circonférence d'une roue en dessus est de trois pieds anglais (2 pieds 9 pouces 9 lignes $^{3441}/_{10000}$, ou 0 m. 914388) par seconde; et, d'après ces observations, cette règle s'applique également aux grandes comme au petites roues; néanmoins, il donne comme exception à la même règle que les roues élevées perdent moins de force que les petites.

(48) Dans les localités où la chute d'eau est très-élevée, mais où le liquide est très-peu abondant, on peut employer, avec un grand avantage, un appareil du genre de celui représenté par la *fig.* 21, *planches* V-VI.

Une chaîne sans fin, qu'on nomme *chapelet*, portant une série d'augets C F E D, tourne sur deux roues A et B; l'eau s'écoule du réservoir G dans l'auget le plus élevé en N; lorsque celui-ci s'abaisse, il est remplacé par l'auget D, qui se remplit à son tour, descend et fait place au suivant. Tous les augets du côté C se remplissent ainsi, tandis que ceux du côté

E sont vides et renversés. La chaîne d'augets est donc constamment en mouvement, entraîné dans la direction C F E D, par le poids de l'eau qui remplit tous les augets du côté C.

(49) La *roue de côté*, représentée *fig.* 22, *planches* V-VI, offre un autre moyen d'employer le poids de l'eau comme agent mécanique.

Cette roue est garnie, sur sa circonférence, de palettes ou d'aubes, dont le plan fait un angle droit avec le plan de la roue, et qui sont tous dans la direction des rayons. Elle prend l'eau un peu au-dessous de son diamètre horizontal. Enfin, le coursier, c'est-à-dire la partie de la maçonnerie ou de la charpente, qui donne passage au liquide, est construit de manière à ne laisser entre les palettes et lui que le moins d'espace possible, c'est-à-dire ce qui est rigoureusement nécessaire pour que la roue puisse se mouvoir librement, afin que l'eau puisse être retenue entre les palettes et le coursier, et utiliser son poids jusqu'à ce qu'elle arrive près du plus bas point de la roue.

(50) Le mouvement d'une *roue en dessous* est entièrement dû à la force

motrice de l'eau courante, et est tout-à-fait indépendant du poids de ce liquide. Comme la roue de côté elle est garnie de palettes, contre lesquelles l'eau est dirigée par un canal en pente, à la partie inférieure de la roue, ainsi que le représente la *figure* 23, *planches* V-VI.

L'effet de cette roue dépend de la quantité d'eau qui passe dans le coursier, et de la vitesse avec laquelle le liquide frappe contre les palettes de la roue. Cette vitesse dépend elle-même de la hauteur de la chute qui doit, par conséquent, être aussi élevée que les circonstances locales le permettent.

Un grand nombre d'opinions différentes ont été émises par les auteurs d'ouvrages sur la Mécanique, sur la question relative au nombre le plus convenable de palettes à mettre sur une roue en dessous.

Bossut a démontré que la vitesse de la roue étant donnée, il y a un certain nombre de palettes qui produisent le plus grand effet.

La règle de Bossut n'est pas d'une nature assez simple pour trouver place dans ce Traité, destiné seulement aux mécaniciens pratiques; mais nous don-

nerons pour règle générale, que la roue peut être garnie d'un aussi grand nombre de palettes que le comporte la force de la circonférence matérielle de la roue à laquelle elles doivent être attachées, en ayant soin en même tems de ne pas trop alourdir la roue par leur poids; « compensation qui peut s'opérer, en faisant les palettes d'une matière qui réunisse la force à la légéreté; en tôle, par exemple. »

Dans tous les cas, les désavantages qui résultent du trop petit nombre de palettes, sont plus considérables que ceux qui peuvent arriver du défaut contraire.

(51) Pour estimer la force avec laquelle un cours d'eau agit sur une roue en dessous, il est souvent nécessaire de mesurer la vitesse du courant, et la quantité d'eau qui passe dans son lit.

On a imaginé diverses méthodes pour obtenir le premier de ces résultats.

L'une des plus simples consiste à tendre, d'un bord à l'autre, deux cordes perpendiculaires au courant, et ayant entre elles une aussi grande distance que les localités peuvent le permettre. On jette dans l'eau un corps léger au dessus

de la corde placée dans la partie supérieure du courant, et l'on observe, au moyen d'une montre qui indique des demies ou des quarts de seconde, le moment précis où ce corps léger passe sous la première corde, ainsi que celui où il passe sous la seconde. On connaît ainsi le tems qu'il a mis pour arriver d'une corde à l'autre, et, en mesurant la distance entre les deux cordes, on connaîtra la vitesse avec laquelle le courant l'aura entraîné, et, par conséquent, la vitesse même du courant.

La *fig.* 24, *planches* V-VI, représente un petit appareil qui offre les moyens de déterminer plus rigoureusement la vitesse d'un cours d'eau.

Il est composé d'une petite roue d'un pied de diamètre, garnie de palettes, et se mouvant sur une vis très-délicate *a b*, qui traverse son axe B *b*.

Lorsqu'on place cette roue sur un cours d'eau, les palettes qui en reçoivent une certaine impulsion, forcent l'axe B *b* à tourner sur la vis *a b*, et à s'avancer vers D, à chaque révolution de la roue, de la distance qui se trouve entre deux pas de la vis.

Un index *o h* est fixé à l'axe mobile

en *o* ; et, lorsque la roue commence son mouvement, la pointe de cet index est sur le 0 de l'échelle fixe *m-a* ; comme la rotation de la roue fait avancer celle-ci vers D, chaque révolution fait aussi avancer l'index d'une des divisions de l'échelle graduée, de sorte qu'on peut facilement connaître le nombre de révolutions qu'aura faites la roue dans un tems donné.

Un autre index, *m n p*, courbé à angle droit, indique les parties de tour ou de révolution que la roue aura pu faire, outre les tours entiers. Avant que le mouvement commence, il faut avoir soin de diriger la pointe *p* de cet index, sur le 0 de la circonférence graduée de la roue.

Ayant trouvé, au moyen de cet appareil, le nombre de révolutions et de fractions de révolution qu'aura faites la roue dans un tems donné, on n'a qu'à multiplier ce nombre par celui qui représente la circonférence de la roue (en pieds ou en mètres), et l'on aura la vitesse avec laquelle le cours d'eau aura fait mouvoir la roue.

(52) La troisième propriété, en vertu de laquelle l'eau peut devenir un agent

mécanique, est celle qu'elle possède avec tous les autres fluides gazeux ou liquides de transmettre *également* la pression dans toutes les directions (*).

Si on remplit d'eau un vaisseau bien fermé de toutes parts, et si l'on exerce une pression quelconque sur un pouce carré de la surface de cette eau, une pression *égale* sera transmise à chaque pouce carré de la paroi intérieure du vaisseau dans lequel l'eau est renfermée.

Une des applications les plus importantes et les plus remarquables de cette propriété de l'eau, comme agent mécanique, est la *presse hydraulique*, que les Anglais nomment plus convenablement *presse hydrostatique* de Bramah, dont la théorie est extrêmement simple (**).

Un piston A B, *fig.* 25, *planches* V-VI, dont le diamètre est très-grand, est construit de manière à se mouvoir dans

---

(*) *Voyez*, pour plus amples détails, le *Traité de Pneumatique* qui fait partie de cette Collection.

(**) *Voyez* encore les détails que contient sur cette presse, le *Traité d'Hydrostatique* qui fait partie de cette Collection.

le cylindre CD, sans laisser passer l'eau entre lui et les parois de ce cylindre.

L'espace au-dessous de ce piston est rempli d'eau, et communique, par un tuyau EF, avec une petite pompe foulante, dans laquelle se meut le piston G, au moyen duquel on force l'eau à passer dans le cylindre CD, au-dessous du grand piston.

Supposons maintenant que l'espace qui se trouve entre ces deux pistons est rempli d'eau, et qu'au moyen du piston G, on exerce sur l'eau une pression d'une livre.

Supposons en outre que le diamètre du piston G est d'un quart de pouce, et que celui du piston AB est d'un pied. Dans ce cas, la base du piston AB, qui est pressée par l'eau, est 2304 fois environ aussi grande que la base du piston G qui presse l'eau; et, en vertu de la propriété que l'eau possède de transmettre également la pression dans toutes les directions, la pression d'une livre qu'exerce le petit piston G est transmise par le liquide sur chaque partie du grand piston AB égale à la base du petit piston.

Ainsi, en produisant une pression

d'une livre sur le petit piston G, on produit contre la base du grand piston A B, une pression de 2304 livres environ.

Cette propriété des fluides nous donne donc le pouvoir d'augmenter l'intensité d'une pression exercée par une force comparativement très-petite, sans autres limites que celles de la résistance des matières avec lesquelles la machine est construite.

Cette même propriété des liquides nous permet aussi de transmettre très-facilement le mouvement et la force d'une machine à une autre, lorsque les circonstances locales nous ôtent la possibilité d'établir d'autres communications mécaniques plus ordinairement employées entre deux machines.

Ainsi, en employant uniquement des tuyaux de conduite, la force d'une machine peut être transmise à une distance quelconque, malgré les inégalités du terrain ou tout autre obstacle.

CHAPITRE VI.

DE L'AIR, CONSIDÉRÉ COMME AGENT MÉCANIQUE.

---

(53) L'AIR peut devenir un agent mécanique par quatre de ses propriétés : son *poids*, son *inertie*, sa *fluidité* ou sa faculté de transmettre la pression, et son *élasticité*.

Dans notre *Traité de Pneumatique*, Chapitre III, nous avons prouvé qu'une colonne d'air dont la base est un pouce carré, et dont la hauteur est celle de l'atmosphère, pèse environ 15 livres. Conséquemment, il en résulte qu'une surface horizontale supportera un poids ou une pression de quinze fois autant de livres qu'elle a de pouces carrés dans son étendue.

Si donc nous avons une substance solide dont l'une des surfaces serait horizontale, par exemple, un piston placé

dans un cylindre vertical, et si nous parvenons à supprimer toute espèce de résistance au-dessous de ce piston, celui-ci se mouvra de haut en bas avec une force égale à quinze fois autant de livres que sa surface supérieure contient de pouces carrés, et nous aurons ainsi un agent mécanique dont la force n'aura d'autres limites que celles qu'on donnera à la surface supérieure du piston.

Mais des difficultés particulières à ce genre de puissance résultent de deux autres propriétés, de l'air: de sa fluidité et de son élasticité.

La première de ces deux propriétés transmet également, dans toutes les directions, la pression résultant du poids de l'atmosphère; de sorte que ce n'est pas seulement la surface supérieure du piston qui se trouve pressée par un poids de 15 livres sur chaque pouce carré; mais toutes les surfaces de l'appareil, dans quelques directions ou positions qu'elles soient, supportent la même pression.

De son côté, l'élasticité de l'air le force à se dilater, à se répandre en tous sens, de manière à remplir tout espace

ouvert qui n'est pas occupé par d'autres corps, soit solides, soit fluides.

En conséquence, dans le cas que nous avons supposé, l'air doit occuper l'espace au-dessous du piston, dans le cylindre, aussi bien que l'espace au-dessus; et sa fluidité doit de même transmettre la pression de l'atmosphère aussi bien à la partie inférieure qu'à la partie supérieure du piston, et avec une énergie égale des deux côtés. Il en résulte donc que le piston est poussé de haut en bas et de bas en haut par des forces égales, et qu'on n'obtient alors aucun avantage mécanique.

(54) Il est donc indispensablement nécessaire, avant de pouvoir employer comme agent mécanique le poids de l'atmosphère, soit qu'il agisse directement de haut en bas, soit que la pression soit transmise en vertu de sa fluidité, latéralement, obliquement, ou de bas en haut, il est donc, disons-nous, indispensable de supprimer l'air de l'autre côté du corps sur lequel on veut faire agir son poids ou sa pression.

Par exemple, dans le cas cité plus haut du piston et du cylindre, il est néces-

saire d'enlever l'air de l'un des côtés du piston avant que le poids ou la pression de l'atmosphère puisse agir sur l'autre côté.

Maintenant, si cet enlèvement de l'air ne peut, comme c'est souvent le cas, s'effectuer que par des moyens mécaniques, la moindre réflexion suffira pour convaincre qu'il faudra exactement autant de force pour enlever cet air d'un des côtés du piston, qu'on en gagnera subséquemment par la pression atmosphérique sur l'autre côté.

Supposons, pour préciser davantage, qu'on enlève, au moyen d'une force mécanique, l'air contenu originairement dans deux pieds de la longueur du cylindre au-dessous du piston; pour y parvenir, il faudra employer une force de 15 livres au moins pour chaque pouce carré de la section horizontale du cylindre, laquelle force agirait sur deux pieds de la longueur du même cylindre; et, lorsqu'on aura obtenu ce résultat, le piston ne sera poussé de haut en bas dans le vide qu'on aura produit, que par une force rigoureusement égale à celle employée pour produire ce vide.

Il est donc nécessaire, pour employer,

comme agent mécanique, la pression de l'atmosphère, de produire un vide au moins partiel; mais si ce vide, plus ou moins parfait, a été produit par une force mécanique, on n'aura obtenu aucune puissance, puisqu'il aura fallu autant de force pour le produire que la pression de l'atmosphère en fournira à son tour.

Néanmoins, en mécanique, on n'a pas toujours pour but de gagner de la force. Il est quelquefois très-utile, et dans certain sens d'un grand avantage mécanique, de pouvoir, au moyen d'une force qui agit d'une certaine manière, obtenir une force *égale*, mais dont le mode d'action est différent, et plus convenable pour le but auquel on veut appliquer cet agent mécanique.

C'est justement le cas qui se présente toutes les fois qu'on met en action la pression atmosphérique, au moyen d'une raréfaction mécaniquement produite. Mais alors on ne doit pas considérer cette pression comme un moteur direct, mais seulement comme un agent intermédiaire qui doit toute son efficacité à la force, quelle qu'elle soit, qui a produit la raréfaction.

Un exemple très-remarquable d'un cas semblable se rencontre dans la *pompe aspirante* ordinaire, décrite dans notre *Traité de Pneumatique*, article 40 (*). Nous avons parlé de cette machine dans ce Traité, non parce qu'elle devrait son efficacité mécanique tout entière au principe de la pression atmosphérique, mais parce que ce principe fait partie des détails de l'action de cette pompe.

Dans cette machine, le premier moteur est la force quelle qu'elle soit qui fait mouvoir le piston; cette force, au commencement de l'opération, produit une raréfaction dans l'espace qui se trouve entre le piston et la surface de l'eau dans le puits. Le poids de l'atmosphère agissant sur la surface extérieure de l'eau dans le puits, fait entrer dans le corps de pompe, exactement autant de liquide que la force appliquée à la verge du piston aurait pu en soulever, si elle avait été immédiatement appliquée à

(*) Elle est également décrite, mais sous d'autres rapports, dans le *Traité d'Hydraulique*.

l'élévation directe de l'eau. C'est ce qui résulte évidemment des considérations développées dans l'article 42 du *Traité de Pneumatique*.

Tout ce que nous venons de faire remarquer, à l'occasion de la pompe aspirante, peut s'appliquer généralement à tous les cas dans lesquels la pression atmosphérique tire son efficacité d'une raréfaction mécaniquement produite.

Strictement parlant, la pression atmosphérique ne peut être considérée comme moteur direct. Le moteur direct est la cause, quelle qu'elle soit, mécanique ou autre, qui produit la raréfaction.

(55) La propriété de l'air à laquelle nous avons donné le nom d'inertie, exerce sa force lorsque ce fluide est en mouvement contre tout corps solide qui met obstacle à ce mouvement. (Voyez le *Traité de Pneumatique*, art. 9.)

Cette force est employée comme moteur direct par des moyens analogues aux roues hydrauliques, c'est-à-dire qu'on expose au choc de l'air des surfaces planes que cette impulsion fait mouvoir autour d'un centre.

Lorsque ce mouvement de rotation

est une fois produit, on peut facilement le transmettre et le modifier par des machines, et l'appliquer à un but quelconque.

Si les ailes d'un moulin à vent étaient construites d'une manière analogue aux palettes d'une roue hydraulique en dessous, le plan de la roue devrait être parallèle à la direction du vent. Dans ce cas, il est évident qu'une moitié de la roue devrait être préservée de l'action du vent, car autrement des forces égales tendraient à faire mouvoir la roue dans des directions opposées, et il n'en résulterait aucun mouvement. D'ailleurs le vent n'agit qu'avec très-peu d'efficacité sur des ailes dont le plan est presque parallèle à sa propre direction, et c'est pour cette raison qu'on ne construit guère de moulins à vent sur ce principe.

D'un autre côté, les rayons qui supportent les ailes se meuvent dans un plan qui est perpendiculaire à la direction du vent. Dans ce cas, si les ailes sont sur le même plan que les rayons, le vent frappera ces ailes dans une direction perpendiculaire, et pressera seulement les rayons contre le bâtiment, dans

une direction perpendiculaire au plan dans lequel ils doivent se mouvoir.

Si, au contraire, les ailes sont perpendiculaires au plan dans lequel les rayons doivent se mouvoir, ces ailes présenteront leur côté au vent, ne lui offriront, par conséquent, aucune résistance, et il n'en résultera aucun mouvement.

Il est donc nécessaire, pour que les rayons tournent, que les ailes soient placées dans une position intermédiaire entre la direction du vent et le plan dans lequel les rayons doivent se mouvoir.

Les expérimentateurs les plus soigneux, et les plus profonds mathématiciens se sont occupés de recherches pratiques et théoriques, à l'effet de déterminer la position qu'il faut donner aux ailes des moulins pour produire le meilleur effet possible.

La plupart des calculs théoriques, sur ce sujet difficile, ont été gâtés par des hypothèses et des conditions inadmissibles en pratique.

En effet, l'angle d'inclinaison à donner au plan des ailes, par rapport à

l'axe de mouvement ou à la direction du vent ; que les calculs de *Parent* avaient désigné comme le meilleur possible, fut reconnu pour l'un des plus mauvais dans les expériences de Smeaton.

La position déterminée par Parent était bien la meilleure au commencement du mouvement ; mais ses calculs reposaient sur la supposition que le vent frappait les ailes dans leur état de repos, et devenaient par conséquent inapplicables à la continuation du mouvement.

Lorsque le vent agit sur les ailes en mouvement, il faut prendre en considération les vitesses respectives des ailes et du vent ; car, si les ailes se meuvent avec une vitesse égale à celle du vent, il ne peut en résulter aucun effet.

L'effet produit doit donc dépendre de la différence entre la vitesse du vent et celle des ailes, ou, si l'on veut, de la vitesse avec laquelle le vent les frappe.

Maintenant, comme l'obliquité des ailes, à l'égard de la direction du vent, doit dépendre de la force avec laquelle celui-ci agit sur elles, et, comme les parties de ces ailes qui sont le plus rapprochées de l'axe de rotation ou du centre

de mouvement, se meuvent plus lentement que les parties qui en sont le plus éloignées, il en résulte que la position des ailes doit varier à différentes distances de l'axe de rotation.

Les nombreuses expériences faites sur une grande échelle, par Smeaton, l'ont conduit à considérer les positions suivantes comme pouvant se classer parmi les meilleures (*).

Concevons le rayon ou la longueur de chaque aile, divisé en six parties égales, dont la première, à partir du centre, s'appellera 1, la seconde 2, et ainsi de suite, la sixième partie se trouvant la plus éloignée du centre: les divers angles que l'aile devra faire devront être ainsi qu'il suit:

(*) La ressemblance générale qu'a la meilleure forme des ailes de moulin avec l'arrangement des plumes dans les ailes des oiseaux est très-remarquable, et offre l'un des plus beaux exemples des princiqes mathématiques qui ont dirigé la construction de tous les ouvrages de la création.

Parties.	Angle qu'elles doivent faire avec l'axe de rotation.	Angle qu'elles doivent faire avec le plan du mouvement.
1	72 degrés.	18 degrés.
2	71	19
3	72	18
4	74	16
5	77 ½	12 ½
6	83	7

(56) La dernière propriété, en vertu de laquelle nous avons établi que l'air peut devenir un agent mécanique, est son *élasticité*.

La nature de cette propriété, et les lois d'après lesquelles elle agit, ont été suffisamment expliquées dans notre *Traité de Pneumatique*, chapitre IV.

Lorsqu'on veut la considérer comme agent mécanique, elle est soumise à peu près aux mêmes observations que celles que nous avons présentées relativement au poids ou à la pression de l'atmosphère.

Pour faire produire un effet quelconque à la force élastique de l'air, il est indispensable que cette force soit supé-

rieure au poids de l'atmosphère dont la pression s'exerce, comme nous l'avons déjà établi, sur tous les corps, dans les circonstances ordinaires.

Si l'on accroît cette élasticité par des moyens mécaniques, ce doit être nécessairement par la compression, ou, si l'on veut, la condensation de ce fluide. Il est évident que, dans ce cas, on n'a gagné ou créé aucune force, puisque celle qu'on a employée pour produire un certain degré de compression sur une quantité donnée d'air est exactement égale à celle que l'accroissement d'élasticité de cet air peut produire.

Néanmoins, dans ce cas comme dans celui où l'on emploie la pression atmosphérique, bien qu'on ne crée aucune force par une condensation mécanique de l'air, on peut en tirer de grands avantages comme moyen de changer une force en une autre, ou d'accumuler les effets d'une très-petite force intermittente, en la convertissant en une pression énergique ou continue.

Nous avons déjà vu un exemple de ce résultat dans le fusil à vent (Voyez le *Traité de Pneumatique*, art. 52). En effet, si nous essayons, au moyen de nos

seules forces manuelles, de lancer une balle de fusil, nous remarquerons que nos efforts ne produiront qu'un très-faible résultat; mais, s'il nous est possible de réunir en une seule impulsion la force combinée d'un très-grand nombre d'impulsions séparées, nous produirons l'effet désiré.

Le fusil à vent n'est rigoureusement autre chose qu'une machine au moyen de laquelle les efforts séparés de notre force musculaire sont accumulés et combinés de manière à produire un effet instantané.

La condensation de l'air dans le réservoir du fusil à vent est le résultat d'un certain nombre d'efforts musculaires, et l'accroissement de force élastique que l'air comprimé en reçoit est exactement égal à la somme de tous les efforts que la force humaine a faits pour produire cette compression. C'est donc, pour ainsi dire, un véritable magasin dans lequel sont rassemblés tous les efforts séparés, de manière que leurs intensités séparées puissent, en un moment, s'appliquer à la balle ou à tout autre projectile.

Dans ce cas, le but qu'on a voulu at-

teindre est la production d'un effet énergique, mais instantané.

L'élasticité de l'air est aussi quelquefois employée pour convertir une action intermittente ou réciproque en une action continue et uniforme.

La *pompe à incendie*, décrite dans notre *Traité de Pneumatique*, art. 48, et toutes les pompes à réservoirs d'air, décrites, soit dans ce Traité, soit dans celui d'*Hydraulique*, sont des exemples de cette application.

En effet, la force appliquée aux pistons est intermittente ou réciproque, tandis que la pression de l'air condensé dans le réservoir d'air par cette même force intermittente, est continue et uniforme dans son action.

Cette action néanmoins est précisément égale à la force employée à faire mouvoir les pistons.

La force élastique de l'air condensé peut être employée à produire une pression énergique et continue sur un principe analogue à celui de la presse hydraulique de Bramah, décrite plus haut.

Soit B, *fig.* 26, *planche* IV-V, un cylindre de grandes dimensions, dans lequel se meut un piston solide A, ajusté

de manière à ne pas laisser passer l'air entre lui et les parois du cylindre.

Soit DE un petit tube communiquant avec le cylindre, ayant une clé de robinet en G, et se terminant en E par une vis. Soit enfin C, une boule creuse de métal très-fort, capable de supporter, de dedans en dehors, une pression très-énergique, ayant un petit tube muni aussi d'une clé de robinet F, et pouvant se visser à volonté avec le tube DE, ou avec une *machine de compression* décrite dans le *Traité de Pneumatique*, article 38.

Au moyen de la machine de compression, on condense l'air dans la boule C, jusqu'à ce que sa force élastique exerce sur la clé de robinet F, lorsqu'elle est fermée, une pression de plus de 1000 liv. Lorsque cette opération est terminée, on dévisse la boule C, en E, et on enlève la machine de compression, après avoir pris la précaution de fermer la clé F pour empêcher l'air de s'échapper. On visse alors la boule C après le tube ED, et l'on ouvre les deux clés F G. L'air condensé passe alors par le tube DE, dans la partie inférieure du cylindre au-dessous du piston qu'il force ainsi à s'élever.

Si, après cette expansion, l'élasticité de l'air comprimé est encore telle qu'elle presse sur chacune des clés F G avec une force qui surpasse la pression atmosphérique de 2000 livres, le piston A sera poussé de bas en haut avec une force d'autant de fois 2000 livres que la surface du piston contiendra de fois la section du tube D E. Supposons donc que le diamètre du piston soit d'un pied, et que celui du tube D E soit d'un quart de pouce, la pression sur le piston sera égale à 1,809,558 livres environ.

Dans ce cas, ainsi que dans le précédent, l'air n'est employé que comme un moyen d'accumuler une force mécanique, et ne doit pas, strictement parlant, être considéré comme moteur direct.

De même qu'en employant le poids ou la pression de l'atmosphère, nous considérons la cause, quelle qu'elle soit, qui produit le vide ou la raréfaction comme le véritable moteur direct; ainsi, en faisant usage de la force élastique de l'air comme agent mécanique, nous considérons le moyen, quel qu'il soit, qui produit la compression nécessaire de l'air, comme le véritable moteur direct.

Nous verrons plus loin que, par la même raison, la chaleur ou le calorique occupe une place importante au rang des moteurs directs.

CHAPITRE VII.

DE LA FORCE ANIMALE.

(57) Un des plus connus, et par conséquent des plus employés, quoique peut-être le moins efficace de tous les moteurs directs, est la *force animale.*

D'après notre ignorance de la nature et du principe de la vie animale, il est évident que nous ne devons pas tenter d'expliquer, d'après les principes scientifiques, les lois qui règlent la force animale.

D'un autre côté, comme c'est à la nature très-variable de cette force qu'on doit les diverses causes physiques qui produisent de si nombreuses différences dans sa

manifestation, soit chez différens individus, soit chez la même personne, à des époques très-rapprochées, des difficultés insurmontables s'opposent à la recherche et à la détermination de ces lois, en ne procédant que par voie d'observation et d'expérience.

L'analogie constante que la nature met dans tous ses ouvrages, leur beauté, leur ordre admirable et leur singulière harmonie, nous donnent néanmoins la conviction que cette force, ainsi que toute autre, est réglée par des lois fixes.

Pour simplifier nos recherches, nous considérerons chaque opération de la force animale comme représentée par l'effort qui serait nécessaire pour mouvoir un fardeau ou un poids quelconque.

Cette fiction n'est pas difficile à concevoir. En effet, de quelque manière qu'on emploie une force, nous pouvons nous représenter un poids quelconque se mouvant avec une certaine vitesse qui peut être considérée comme un effort équivalent.

En estimant l'action de la force animale d'après cette donnée, il en résulte une loi très-évidente. C'est que, *si le fardeau à mouvoir est augmenté* (tou-

tes les autres conditions restant les mêmes), *la vitesse de l'animal* (ou de l'homme) *sera nécessairement diminuée.*

Mais ici se présente uue difficulté plus grande : comment déterminer le rapport dans lequel la vitesse doit diminuer, l'augmentation du fardeau étant connue, et la dépense de force animale restant la même?

On a donné, à ce sujet, diverses formules, plus ou moins d'accord avec l'expérience, et nous allons essayer d'expliquer, de la manière la plus simple et la plus claire, celle de ces formules qui paraît offrir, avec le plus d'exactitude, les résultats de l'expérience.

L'action de la force animale présente deux cas extrêmes, savoir :

On peut concevoir une certaine vitesse avec laquelle l'animal ne peut entraîner aucun fardeau, et n'a que le pouvoir, la faculté de mouvoir son propre corps. Appelons X cette vitesse.

On peut également se faire l'idée d'un fardeau, d'un poids tel que l'animal ne puisse que le supporter, le soutenir, sans pouvoir le mettre en mouvement. Appelons ce poids L.

Ce qu'en termes techniques on nomme *effet utile*, dépend de deux choses : le fardeau, considéré seulement comme soutenu, et la vitesse avec laquelle il est mis en mouvement.

L'effet utile doit donc *s'estimer en multipliant le poids par la vitesse.*

C'est ce que l'exemple suivant fera parfaitement comprendre.

Supposons qu'un cheval mène deux quintaux, en faisant six kilomètres (1 $^1/_5$ lieue) par heure, et qu'un autre cheval mène trois quintaux en faisant quatre kilomètres ($^4/_5$ de lieue) à l'heure. Le fardeau du premier cheval, ou le poids qu'il supporte, est 2, et sa vitesse 6 ; le produit, ou l'effet utile est donc 12. Le fardeau du second est 3, et sa vitesse 4 ; l'effet utile est encore 12.

L'utilité qui résulte de cette manière de considérer comme égaux les effets uti les produits dans ces deux cas, deviendra évidente, si l'on suppose que les deux chevaux sont employés à transporter, pendant six heures, les mêmes fardeaux d'un lieu à un autre, éloigné du premier à la distance d'un kilomètre. Le premier cheval transportera pendant six heures 72 quintaux d'un lieu à l'au-

tre, et fera trente-six voyages, puisqu'il fait 6 kilomètres à l'heure, et qu'il mène 2 quintaux à chaque voyage. Le second cheval ne fera que 24 voyages, puisqu'il parcourt seulement 4 kilomètres par heure; mais à chaque voyage il transporte 3 quintaux. Donc il transportera aussi, dans ses six heures de travail, 72 quintaux comme le premier cheval.

Il est donc évident que les effets utiles, produits par les deux chevaux, sont égaux, et que la méthode qui sert à estimer l'effet utile, en multipliant, l'un par l'autre, le nombre qui exprime le poids et celui qui exprime la vitesse avec laquelle ce poids en mis en mouvement, est fondée en principe.

Revenons maintenant au poids L et à la vitesse X. Il est évident qu'avec le poids L seul, l'effet utile est nul, puisqu'il n'a aucune vitesse. Il est également évident qu'avec la vitesse X seule, l'effet utile est encore nul, puisqu'elle n'entraîne aucun poids.

Mais avec un poids moindre que L, on aurait nécessairement une vitesse moindre que X, et par conséquent il en résulterait un effet utile.

Le poids L et la vitesse X sont donc

deux cas extrêmes dans lesquels disparaît l'effet utile, qui diminue en approchant de ces deux cas, entre lesquels se trouve uu point quelconque qui produit le *maximum* de cet effet utile.

Pour déterminer ce *maximum*, il est nécessaire de connaître dans quel rapport la vitesse diminue par une augmentation donnée du poids.

Soit l un poids quelconque moindre que L, et soit x la plus grande vitesse possible avec laquelle ce poids puisse être mis en mouvement. L'effet utile sera $l \times x$; c'est-à-dire le poids l multiplié par la vitesse x.

La règle qui paraît le mieux s'accorder avec l'expérience est que le poids l augmente dans le même rapport que le carré de la différence entre la plus grande vitesse X, avec laquelle l'animal peut se mouvoir sans être chargé, et la plus grande vitesse x avec laquelle il peut mouvoir le poids l; c'est-à-dire, comme l'exprimeraient les algébristes, que l augmente comme $(X - x)^2$. Il résulterait donc de cette règle que l'effet utile serait représenté par le produit $(X - x)^2 \times x$.

On nous comprendra probablement

plus facilement si nous traduisons ces formules algébriques en un tableau arithmétique.

Supposons que le nombre 15 représente la vitesse X, la plus grande possible lorsque l'animal n'est pas chargé; et que le carré de 15, ou le nombre 225, représente le poids L, c'est-à-dire le plus grand poids que l'animal puisse supporter sans le mettre en mouvement.

On trouvera la valeur des unités du nombre 15, c'est-à-dire la valeur de chaque quinzième partie de ce nombre, en divisant l'espace parcouru pendant un temps donné, une heure par exemple, en 15 parties égales; chacune de ces parties représentera donc une unité du nombre 15, ou la quinzième partie de ce nombre qui exprime lui-même la plus grande vitesse, sans charge X.

On trouvera également la valeur des unités du nombre 225, ou de chaque 225[e] partie de ce nombre, en divisant le plus grand poids L que l'animal puisse supporter sans le mettre en mouvement, en 225 parties égales; chacune de ces parties sera donc représentée par chacune de ces unités, ou par chaque 225[e]

partie du nombre 225 qui représente le plus grand poids possible L.

Le tableau suivant donne, pour chaque degré de vitesse depuis 1 jusqu'à 15, le poids correspondant et l'effet utile.

Vitesse.	0	1	2	3	4	5	6	7
Poids.	225	196	169	144	121	100	81	64
Effet utile.	0	196	338	432	484	500	486	448

Vitesse.	8	9	10	11	12	13	14	15
Poids.	49	36	25	16	9	4	1	0
Effet ut.	392	324	250	176	108	52	14	0

Il résulte de l'inspection de ce tableau, qu'on obtient un effet utile beaucoup plus grand, avec une vitesse moindre et un poids plus considérable, qu'avec une vitesse plus rapide et un poids plus léger.

En effet, on y voit que le plus grand effet utile est produit par la vitesse 5, et le poids 100, c'est-à-dire par une vitesse qui est le tiers de la plus grande vitesse, sans charge 15, et par un poids formant les quatre neuvièmes du plus grand poids que l'animal puisse soulever sans le mettre en mouvement, et qui est représenté par le nombre 225.

Nous trouverons également les mêmes

résultats, quel que soit le nombre que nous choisissions pour représenter la plus grande vitesse (*).

Ainsi, si la plus grande vitesse que puisse avoir un cheval, qui n'aurait

---

(*) Cette recherche mathématique n'est pas difficile. Soit u l'effet utile. Alors, par la formule empirique expliquée plus haut, nous avons $u = (X - x)^2 x$; différenciant cette expression, nous obtenons

$$\frac{du}{dx} = (X-x)^2 - 2(X-x)x.$$

Supposant que cette quantité $= 0$, nous obtiendrons la valeur de x qui correspond à un *maximum* ou à un *minimum* de u, ce qui donne l'équation $(X-x)(X-3x) = 0$.

Les racines de cette équation, ou les valeurs de x, sont $x = X$, et $x = \frac{1}{3}X$.

Pour $x = X$, la charge et l'effet utile deviennent 0 l'une et l'autre. Cette valeur de x correspond donc à un *minimum*.

Pour $x = \frac{1}{3}X$, $l = (X - \frac{1}{3}X)^2 = \frac{4}{9}X^2$: c'est-à dire que la charge correspondante à un tiers de la plus grande vitesse est les $\frac{4}{9}$ de la plus grande charge : car $L = X^2$.

On démontre aisément que cette quantité est

aucun fardeau à transporter, était de 15 kilomètres ($1\frac{1}{2}$ lieue) par heure, et si le plus grand poids qu'il serait capable de soutenir était divisé en 225 parties égales, le travail de ce cheval serait employé le plus avantageusement possible, en lui faisant transporter 100 de ces parties avec une vitesse de 5 kilomètres par heure. En l'employant ainsi, on trouvera qu'il pourra transporter un plus grand poids, à une distance et pendant un tems donnés, que dans toute autre circonstance.

La valeur relative de la force humaine, considérée comme agent mécanique, a été diversement estimée. Desaguillers pensait qu'un homme peut

---

un *maximum*, en prenant la différentielle seconde, ce qui donne

$$\frac{d^2 x}{d x^2} = -3(X-x) - (X-3x) = -4X + 6x.$$

Si, dans cette expression, nous substituons $\frac{1}{3}$ X à x, nous trouverons $-4X + 2X = -2X$. Ce résultat étant négatif, montre que la valeur $\frac{1}{3}$ X correspond à un *maximum* de u.

élever un poids de 550 livres à 10 pieds de haut en une minute, et continuer ce travail pendant 6 heures; Smeaton considérait cette estimation comme trop grande, et pensait que six bons ouvriers anglais étaient nécessaires pour élever, pendant un travail de 4 heures, 21,141 pieds cubes anglais (*) d'eau de mer à la hauteur de 4 pieds anglais (**), et que, dans ce cas, ils élèveraient chacun un peu plus de 6 pieds cubes anglais d'eau douce à une hauteur de 10 pieds anglais (***) en une minute. Smeaton considère les ouvriers capables de faire cette quantité de travail comme valant chacun deux hommes ordinaires.

Ce serait peut-être une estimation

(*) Le pied cube anglais équivaut à 0.8261 pied cube français, ou 28 décimètres 3157^{3} cubes. Les 21141 pieds cubes équivalent à 1747^{3} pieds 1086 pouces 567 lignes cubes francais, ou 598 mètres 877 décimètres 689 centimètres 500 millimètres cubes.

(**) 4 pieds anglais valent 3 pieds 9 pouces 0 ligne $^{42}/_{100}$, ou 1^{m} 219.

(***) 10 pieds anglais valent 9 pieds 4 pouces 6 lignes $^{72}/_{100}$, ou 3^{m} 047.

plus exacte de la force de l'homme que de la considérer comme pouvant porter un poids de 120 litres d'eau à la hauteur de 16 pieds en une minute.

Les efforts des hommes diffèrent suivant la manière dont ils sont employés. Buchanan a trouvé que la même quantité de travail humain, employée à pomper de l'eau, à tourner une manivelle, à sonner une cloche et à ramer sur un bâteau, produit des effets utiles représentés respectivement par les nombres 100, 167, 227 et 248.

La manière la plus avantageuse d'employer la force humaine, ou pour mieux dire celle d'où résulte le plus grand effet utile, est donc le travail de la rame.

Le plus utile des quadrupèdes, comme agent mécanique, est le cheval. Les valeurs relatives du travail d'un cheval et d'un homme ont été diversement estimées; quelques auteurs prétendent que ces forces sont entre elles dans le rapport de 5 à 1; d'autres, dans le rapport de 6 à 1; enfin, d'autres pensent que ce rapport est de 7 à 1. Peut-être la moyenne de ces estimations compara-

tives serait-elle la plus exacte, et pourrait-on considérer un cheval comme équivalant à 6 hommes.

La manière la plus avantageuse d'employer la force des chevaux est le *tirage;* la plus mauvaise est celle dans laquelle le cheval *porte* un fardeau en montant; tandis qu'au contraire la disposition particulière des membres de l'homme le rend très-apte à cette espèce de travail. On a remarqué que trois hommes, chargés chacun de 100 livres, monteront plus rapidement une colline qu'un cheval chargé de 300 livres.

CHAPITRE VIII.

DES AGENS MÉCANIQUES DÉPENDANS DE LA CHALEUR.

(58) Afin d'expliquer les différens moyens par lesquels la chaleur peut servir à la production d'agens mécaniques, il est nécessaire de donner d'abord quelques courtes explications sur ses propriétés, notamment sur celles qui

peuvent avoir quelque influence sur cette propriété de la matière qu'on nomme cohésion.

Ceux de nos lecteurs qui désireraient des détails plus étendus sur ce sujet, pourront recourir au *Traité du Calorique* qui fait partie de cette Collection.

On suppose qu'il existe, entre les molécules de la matière, quelles que soient leur forme et leur situation, une certaine attraction mutuelle au moyen de laquelle ces molécules tendent, si elles n'éprouvent pas de résistance contraire, à se rapprocher les unes des autres, pour se réunir et se former en une masse solide, concrète.

On suppose aussi que la *chaleur* ou le *calorique* est un fluide subtil, éminemment élastique, qui pénètre, en plus ou moins grande quantité, dans tous les corps, et tend, d'après son énergique élasticité, à en écarter les molécules les unes des autres.

Quelle que soit la nature de la chaleur, qu'elle soit matérielle ou non, c'est un fait incontestable qu'elle est une *cause* qui produit un effet exactement contraire à celui de la cohésion, et que, suivant qu'elle pénètre en plus ou mo ns

grande quantité dans un corps, elle donne aux molécules de ce corps une tendance à se repous er les unes les autres; cette tendance, dans certains cas, devient supérieure à la force de cohésion, et détache alors les molécules les unes des autres.

Lorsque nous voyons un corps quelconque à l'état solide, nous en concluons que la force cohésive avec laquelle ses parties s'attirent l'une l'autre, est de beaucoup supérieure à l'énergie répulsive du calorique qui pénètre actuellement ce corps, et que, par conséquent, la force avec laquelle les molécules adhèrent les unes aux autres, est égale à la différence entre les deux forces attractive et répulsive.

Si, au moyen de l'application extérieure du feu, nous faisons pénétrer dans ce corps une quantité additionnelle de calorique, nous devons naturellement en conclure que l'effet répulsif du calorique étant augmenté, les molécules qui composent le corps seront plus séparées, s'écarteront les unes des autres à de plus grandes distances, et augmenteront ainsi les dimensions du corps.

C'est ce dont on se convaincra facilement par l'expérience suivante.

Soit CD, *fig.* 27, *pl.* V-VI, un barreau cylindrique de métal adapté à un manche *a*, et dont la longueur est exactement mesurée par l'entaille pratiquée dans un autre morceau de métal *b*, dans lequel est aussi percé un trou circulaire qui mesure exactement les dimensions cylindriques du barreau.

Si l'on échauffe ce barreau, sa longueur et son diamètre augmenteront à un point tel, qu'il ne pourra plus entrer dans l'entaille, suivant le sens de sa longueur, ou dans le trou circulaire, dans le sens de son diamètre.

En général, lorsqu'on communique de la chaleur aux corps solides, leur volume augmente en vertu des causes que nous venons de signaler. Mais cet effet est beaucoup plus sensible dans les métaux que dans les autres corps solides.

La chaleur ne produit pas uniquement ces effets sur les corps solides ; car on les observe également sur les liquides, et encore plus sur les fluides aériformes.

Le thermomètre est un instrument dans lequel la dilatation d'un fluide par

la chaleur est employée comme l'indication ou la mesure du degré de chaleur auquel l'instrument est exposé (voyez le *Traité du Calorique*, Chapitre IV), et le fluide dont on se sert peut être ou un liquide ou un gaz, bien qu'on emploie plus fréquemment le premier.

(59) Les corps à l'état solide, liquide ou gazeux, produisent un certain degré de force mécanique par l'augmentation de leur volume, au moyen de la chaleur, et tout obstacle qui s'opposerait à cette augmentation de volume supporterait une pression proportionnelle.

Cette force est fréquemment employée comme agent mécanique, et ce qui la rend surtout d'un avantage inappréciable, c'est qu'on peut lui donner le plus haut degré d'intensité, sans avoir besoin de recourir, pour la produire, à aucune autre force mécanique. Sous ce rapport surtout, elle est bien supérieure à l'action mécanique de l'air produite par la raréfaction et la compression de ce fluide (53, 54 et 56).

Un exemple remarquable de la force avec laquelle les corps solides augmentent leurs dimensions par la chaleur,

eut lieu, il y a quelques années, au *Conservatoire des Arts et Métiers*, à Paris.

Le poids d'une toiture avait forcé les murs d'une galerie à se projeter en dehors, et les faisait pencher de manière à faire craindre qu'ils ne vinssent à s'écrouler. Voici de quelle manière M. Mollard parvint à leur rendre une position verticale.

On perça des trous vis-à-vis les uns des autres, dans les deux murailles, et l'on y fit passer de longues barres de fer qui traversaient toute la largeur de la galerie, et qui dépassaient en dehors du bâtiment. Aux deux extrémités de ces barres de fer, on adapta de forts écrous qu'on vissa jusque contre les murailles. Ensuite, chaque barre alterne fut fortement échauffée, de manière que sa longueur s'accrut par la dilatation, et que les écrous ne touchaient plus les murailles; on revissa de nouveau les écrous jusqu'au même point, et on laissa refroidir les barres. Le refroidissement les réduisit à leur longueur primitive, et les écrous entraînèrent la muraille de dehors en dedans avec une force irrésistible La même opération fut répétée

sur les barres intermédiaires, et continuée jusqu'à ce que les murailles eussent repris la position verticale.

On emploie la même force mécanique pour ferrer les roues de voiture et cercler les tonneaux. La bande circulaire ou le cercle de fer est mis en place fortement échauffé, et n'ayant alors que les dimensions de la roue ou du tonneau. Son refroidissement lui fait contracter et retenir avec une force énorme les diverses parties de la roue ou du tonneau.

Il est évident néanmoins que les forces produites par la dilatation et la contraction des corps solides, au moyen de leur échauffement et de leur refroidissement, agissent dans des espaces tellement limités, qu'elles ne peuvent être employées comme agens mécaniques que dans des cas très-rares et dans des circonstances particulières.

(60) La chaleur produit des agens mécaniques d'une puissance beaucoup plus grande, tant par l'influence qu'elle exerce sur la forme des corps, que par la propriété qu'elle possède d'augmenter leurs dimensions.

Nous avons vu que, dans un corps

solide, la force cohésive de ces molécules est supérieure à l'influence répulsive du calorique qui pénètre ce corps.

Dans la supposition que la force de cohésion ne serait pas augmentée, quel serait l'effet produit si nous faisions pénétrer dans un corps quelconque, au moyen de l'application du feu, une telle quantité de calorique, que la force répulsive de celui-ci devînt égale, ou à peu près égale à la force de cohésion des molécules du corps?

Evidemment, nous pouvons facilement prévoir que les molécules du corps n'ayant que peu ou point de tendance à se réunir, elles se mouvront librement les unes parmi les autres, et se répandront en tous sens par leur propre poids, à moins qu'elles n'en soient empêchées par les bords du vase qui les contient; en un mot, nous pourrons prévoir que, par l'application d'une telle quantité de chaleur, le corps *solide* sera devenu *liquide*, et que par conséquent les corps solides se liquéfient par leur exposition, pendant un tems suffisant, à l'action du feu.

Il paraîtrait donc que la forme solide et la forme liquide qu'affectent certains

corps dans leur état ordinaire, est le résultat du rapport qui existe entre la force de cohésion particulière à leurs molécules, et la force répulsive du calorique dont ces corps sont pénétrés; la première de ces forces étant de beaucoup supérieure à l'autre dans les corps solides, et toutes étant presque en équilibre dans les liquides.

L'expérience nous démontrera aussi, comme une conséquence du même principe, que, si on enlève à un liquide une quantité suffisante de chaleur, il devient solide, parce que la force cohésive de ses molécules acquiert une supériorité suffisante sur la force répulsive de la chaleur par la diminution de cette dernière.

(61) La liquéfaction n'est pas néanmoins le seul ni le plus important changement qui puisse résulter du rapport subsistant entre ces deux forces.

Dans un liquide, comme nous l'avons déjà expliqué, la force répulsive du calorique fait presque équilibre à la force cohésive des molécules. Maintenant, si nous augmentons encore de beaucoup la quantité de calorique dont le liquide est pénétré, son effet répulsif deviendra su-

périeur à la force cohésive des molécules, qui, au lieu d'être entre elles dans une espèce d'*indifférence* relativement à leur attraction mutuelle, se repousseront les unes les autres avec une grande énergie ; et le liquide prendra une forme telle, qu'il faudra le tenir exactement renfermé, si on veut empêcher qu'il ne se dissipe entièrement par la dispersion de ses molécules que produit l'effet répulsif du calorique.

En conséquence, si un liquide est soumis, pendant un tems considérable, à l'action du feu, il se convertira graduellement en vapeur, fluide entièrement différent des liquides sous le rapport mécanique.

Si un liquide est renfermé dans un vase quelconque, il n'exercera d'autre force sur les surfaces qui le contiennent qu'une pression produite par son propre poids. Mais, lorsque le même liquide est converti en vapeur, et renfermé dans un vase hermétiquement fermé, il presse les surfaces intérieures du vase, au moyen de sa force élastique qui est entièrement indépendante de son poids, et qui résulte de l'effort que font les molécules pour se repousser les unes les

autres; cette force pourra même être tellement énergique, que le vase qui contient la vapeur se brisera en éclats, quelle que soit la force de ses parois.

Le degré d'élasticité de la vapeur, ou la pression qu'elle exerce sur les parois intérieures du vase qui la renferment s'accroît donc, d'après cette théorie, confirmée par l'expérience, dans le même rapport que la chaleur que l'on communique à la vapeur; tandis que, d'un autre côté, la pression exercée sur les parois du vase, ou la force élastique de la vapeur diminue dans le même rapport que la température de cette vapeur est abaissée.

L'évaporation des liquides est néanmoins produite par une force dont les effets ne sont pas sensibles dans la liquéfaction des corps solides. La pression atmosphérique a pour effet de tenir réunies les molécules des liquides, et concourt par conséquent, avec la force de cohésion, à contrarier ou à diminuer les effets du calorique.

Lorsqu'on a communiqué à un corps quelconque une quantité de calorique suffisante pour faire équilibre avec la force de cohésion, ce corps, d'après no-

tre théorie, doit se trouver dans un état tel, que la plus petite augmentation de chaleur doit convertir le liquide en vapeur.

Dans ce cas néanmoins, la pression atmosphérique s'oppose à ce changement; et c'est cette force, et même cette seule force, qui retient les molécules rassemblées sous la forme liquide. La preuve de cette assertion est que, si l'on supprime la pression atmosphérique, un grand nombre de molécules, qui sont maintenues à l'état liquide par l'action mécanique de cette pression, se convertiront en vapeurs.

Si l'on met, sous le récipient d'une machine pneumatique, de l'eau échauffée à 80 degrés centigrades environ, ou bien de l'alcohol ou de l'éther, ces liquides se mettront à bouillir, et se convertiront en vapeurs si l'on supprime, ou mêmesi l'on diminue, par la raréfaction, la pression que l'air exerce sur leur surface. L'éther lui-même s'évapore, si on l'expose à l'air libre, sans diminuer en rien la pression atmosphérique.

D'un autre côté, il doit résulter de cette théorie que, si la pression est augmentée, elle s'opposera à l'évaporation

du liquide, et c'est ce qui arrive en effet. L'eau, exposée à la pression atmosphérique, lorsque la hauteur du baromètre est de 28 pouces (0 m. 763), bout, et se convertit en vapeur à la température de 100 degrés centigrades; mais, si cette même eau est soumise à une augmentation de pression, elle ne bouillira et ne s'évaporera que lorsqu'elle aura atteint une température beaucoup plus élevée.

Si l'on enlève une quantité suffisante de calorique à la vapeur qu'aura pu fournir un liquide, cette vapeur reprendra de nouveau la forme liquide; et c'est un fait très-important que, dans ce cas, son volume est considérablement réduit.

Un pouce cube d'eau, convertie en vapeur sous la pression ordinaire de l'atmosphère, produit un pied cube de vapeur. Par conséquent, si l'on enlève une quantité suffisante de calorique à un pied cube de cette vapeur, elle sera convertie de nouveau en eau, et réduite à un pouce cube.

On peut faire servir cette propriété à la production d'un agent mécanique très-important.

En effet, si un pied cube de vapeur

est renfermé dans un vase quelconque, et si l'on refroidit ce vase de manière à *condenser* la vapeur, ou, si l'on veut, à la convertir en eau, on obtiendra un espace vide de 1727 pouces cubes; car la vapeur qui, avant la condensation, occupait un espace d'un pied cube ou de 1728 pouces, est réduite, après sa condensation, à un pouce cube, et laisse par conséquent entièrement vide un espace de 1727 pouces cubes.

La condensation de la vapeur, ou son retour à l'état liquide devient ainsi un moyen aussi facile qu'efficace de produire le vide; et cette manière d'opérer n'est pas susceptible des mêmes objections que les moyens mécaniques de produire le même effet, que nous avons signalés au Chapitre VI, puisqu'on obtient ce vide sans le secours d'aucune force mécanique.

C'est sur ce principe qu'étaient construites les anciennes machines à vapeur ou *pompes à feu*.

Dans la machine construite par Savary, vers l'an 1700, la pression atmosphérique était employée à élever l'eau dans un tuyau où l'on produisait le vide par le moyen suivant : on en chassait l'air

en y introduisant de la vapeur chaude; et lorsque le tube ne contenait plus que de la vapeur, l'air ayant été entièrement expulsé par une soupape s'ouvrant en dehors, la vapeur était condensée par le refroidissement de la surface extérieure du vase qui la renfermait. Par ce moyen, on obtenait un vide, puisque l'air ne pouvait rentrer par la soupape qui, s'ouvrant de dedans en dehors, était tenue fermée par la pression atmosphérique. Cette même pression s'exerçant sur la surface de l'eau, dans le puits ou le réservoir, forçait le liquide à monter dans le vase ou dans le tuyau.

Peu de tems après, Newcomen employa le même moyen pour faire le vide dans la pompe à feu; mais il appliqua d'une manière différente la pression de l'atmosphère.

Il se servit, à cet effet, d'un cylindre dans lequel se mouvait un piston parfaitement ajusté, pour ne laisser entre lui et les parois du cylindre aucun passage à la vapeur; il attacha la verge de ce piston à l'une des extrémités d'un grand balancier qui se mouvait sur un axe comme un fléau de balances, et dont l'autre extrémité était attachée aux tiges

des pistons des pompes à eau, qu'il voulait ainsi mettre en action. Le poids des pistons de ces dernières pompes était suffisant pour soulever le piston de la pompe à feu jusqu'en haut du cylindre, qu'il remplissait alors de vapeur pour en chasser l'air. En refroidissant ce cylindre, la vapeur se condensait; il se produisait un vide au-dessous du piston, et, par conséquent, la pression atmosphérique s'exerçant en dessus, l'abaissait jusqu'en bas du cylindre; cet abaissement déterminait l'élévation des pistons des autres pompes, au moyen du balancier, et l'opération recommençait.

Dans ce cas, la force directe ou élastique de la vapeur n'était pas utilisée; la pression atmosphérique était l'agent efficace, mais ne devait son efficacité qu'au vide produit par la condensation de la vapeur.

Néanmoins, à une époque plus reculée, l'action mécanique de la vapeur, résultant de son élasticité, avait été signalée comme une puissance dont la force n'avait presque pas de limites. En 1663, le marquis de Worcester fit construire une machine qui, d'après son assertion, élevait une grande quantité

d'eau à une hauteur considérable, et qui était beaucoup plus puissante que la pression de l'atmosphère, qui ne peut agir que sur des surfaces très-limitées, tandis que la force de la vapeur n'a, dit le marquis de Worcester, d'autres bornes que la force des vases qui la contiennent.

Dans les tems modernes, on imagina la machine à vapeur perfectionnée, dite à *basse pression*, et dans laquelle on emploie les deux forces de la vapeur, dont nous avons parlé; un piston est placé dans un cylindre; et la vapeur agissant sur l'une des surfaces de ce piston, tandis que le vide est produit par la condensation de la vapeur de l'autre côté, met le piston en mouvement.

Dans les *machines à haute pression*, la force élastique de la vapeur est employée contre un piston, au mouvement duquel s'oppose la pression atmosphérique de l'autre côté. Les avantages que cet appareil possède sur ceux de la machine à basse pression, sont que l'appareil nécessaire à la condensation de la vapeur est devenu inutile, ce qui rend la machine moins chère et plus légère.

D'un autre côté, il en résulte un dés-

avantage : c'est que toute la force élastique de la vapeur, employée à faire équilibre à la pression de l'atmosphère, est perdue, puisqu'il faut, avant tout, surmonter cette pression pour produire du mouvement.

Il est nécessaire, en conséquence, d'employer la vapeur à une température et à une pression très-élevée ; ce qui, dans ces sortes d'appareils, augmente la dépense du combustible, et rend l'opération plus dangereuse. Ayant une fois obtenu, par l'un des procédés ci-dessus, le mouvement du piston dans le cylindre, il est très-facile d'appliquer cette force ainsi produite, soit par un levier, soit par tout autre moyen, à une opération mécanique quelconque.

Dans ce premier Traité sur la *Mécanique*, nous nous sommes borné à donner au lecteur une idée succincte des plus importantes propriétés du mouvement et de la force, et à lui offrir une esquisse rapide des principaux agens mécaniques ou moteurs directs.

Notre but ayant été de rendre cet ouvrage aussi populaire que possible, nous avons évité, autant que cela a pu se faire, tout détail mathématique.

Nous adopterons la même marche, et la même forme familière dans notre second Traité, qui contiendra les *Élémens de la science des Machines*, ou des moyens par lesquels les forces naturelles, dont nous venons de donner la description, reçoivent une application mécanique.

Dans ce Traité, les *puissances mécaniques* seront l'objet spécial de notre examen.

TABLE

DES CHAPITRES.

CHAPITRE PREMIER.

CHAPITRE II.

CHAPITRE III.

CHAPITRE IV.

CHAPITRE V.

CHAPITRE VI.